PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA POR FLOTOFILTRAÇÃO – DESAFIOS DA OPERAÇÃO DE UMA ETA DE 25 ANOS FRENTE AS ATUAIS EXIGÊNCIAS DA PORTARIA GM/MS Nº 888/2021

Mario Augusto Ferraz do Amaral[(1)]
Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Pós-graduado em Saneamento Ambiental pela Escola de Sociologia e Política do Estado de São Paulo (FESPSP). Gerente de Divisão Operacional Água na Sabesp – Unidade de Negócio Litoral Norte.
Veronica Di Flora e Souza[(2)]
Engenheira Ambiental pela Universidade Cruzeiro do Sul. Bacharel em Química com atribuições tecnológicas pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Encarregada de Tratamento de Água na Sabesp – Unidade de Negócio Litoral Norte.
Rui Cesar Rodrigues Bueno[(3)]
Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo [USP]. MBA em Administração pela Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia [FUNDACE] da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto [FEA-RP] da Universidade de São Paulo [USP]. Especialização em Saúde Pública pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto [FMRP] da Universidade de São Paulo [USP]. Químico Industrial pela Escola Superior de Química Osvaldo Cruz. Superintendente na Sabesp – Unidade de Negócio Litoral Norte.

Endereço[(1)]**:** Av. Arthur Costa Filho, 131 - Centro - Caraguatatuba - SP - CEP: 11660-005 - Brasil - Tel.: +55 (12) 3886-2304 - e-mail: mafamaral@sabesp.com.br.

RESUMO

A SABESP concebeu em 1998 uma estação de tratamento de água pelo método de flotofiltração caracterizada como pioneira por ser uma estação de grande porte utilizando um processo não convencional para o Estado de São Paulo e mesmo para o Brasil. O processo que aplica a técnica de flotofiltração por ar dissolvido - FAD, parcialmente automatizada, tem vazão nominal de projeto de 550 l/s. A instalação dessa ETA foi realizada a partir do censo de que que era ideal para mananciais de serra de boa qualidade de água e protegidos contra erosões e sólidos presentes na água em grande quantidade, outros pontos considerados também foram alta variação de temperatura, grande quantidade de ar dissolvido, alta concentração de cor e baixa turbidez, além disso, custo civil reduzido, baixo tempo de implantação, possibilidade de expansibilidade modular assegurada e, finalmente, que o processo garantisse remoção de materiais orgânicos presentes na água bruta.

PALAVRAS-CHAVE: Flotofiltração, Flotação Ar Dissolvido, Tratamento de Água.

INTRODUÇÃO

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo foi pioneira no Brasil na implantação e operação de uma unidade de tratamento de água de grande porte pelo processo de flotofiltração que aplica a técnica de flotação por ar dissolvido, também conhecida como FAD, com capacidade de produção de 550 l/s na primeira etapa e 1110 l/s na segunda etapa (não concluída), instalada no município de Caraguatatuba, e que faz parte do sistema de tratamento de água Porto Novo, Litoral Norte do Estado de São Paulo.

HISTÓRICO

Segundo CAMPOS JR., D. J. e SOUZA, G.A.D.B. (2019), o processo de Flotação foi reconhecido como um método de separação de minérios no início do século XX, sendo uma patente concedida nos EUA por um processo utilizando a aeração à pressão, seguida pelo alívio de pressão. Desde esse início, a Flotação por Ar Dissolvido encontrou muitas aplicações, tais como: separação de minérios, clarificação de efluentes de papel e celulose, efluentes de refinaria, entre outros.

Na área de tratamento de água, a técnica de flotação começou a ser aplicada quando a consagrada técnica de sedimentação encontrou situações adversas e perdeu eficiência, principalmente em razão da eutrofização dos mananciais e consequentemente pelas elevadas quantidades de algas presentes nas águas brutas e em águas de serra, mananciais pequenos cujas margens foram desmatadas. Em razão desses e outros problemas que a técnica de flotação passou a ter maior aplicabilidade principalmente a partir dos anos 60 na Europa. Após essa data, o processo de classificação por FAD, passou a ser utilizado na Suécia, Noruega, Finlândia, Grã-Bretanha, Ásia, Austrália, Estado Unidos, e no Brasil nas cidades de Joinville S.C, Jaraguá do Sul S.C, Meaipe ES, Mantenópolis ES, Mairiporã SP, Itu SP, Sumaré SP, e Caraguatatuba SP, planta que motivou estas considerações.

APLICAÇÃO

Segundo SIMÕES, J. C. (1999), a técnica de flotação por ar dissolvido (FAD) é um processo que tem custo baixo de implantação, em especial por ocasião de reforma de plantas na qual pretende-se aumento de vazão e cuja água captada apresentam-se com variações bruscas de temperatura, problema de águas eutrofizadas, ou mananciais que apresentam grandes concentrações de ar dissolvido na água bruta, cor elevada, baixa turbidez, situação de certa forma comum dos mananciais de serra utilizados para abastecimento nas regiões litorâneas do estado de São Paulo.

Do ponto de vista operacional, mesmo com as grandes variações apontadas acima, o processo de flotofiltração mantém a estabilidade do tratamento.

É uma técnica que, segundo as diversas literaturas consultadas, muito eficiente na remoção de partículas nas quais se incluem bactérias, algas, cistos de protozoários, flocos de hidróxido de alumínio, resultante de coagulações orgânicas, e outros flocos que não tiveram uma boa formação, CAMPOS, J.R. e REALI M.A.P., (1985).

ETA - PORTO NOVO

Do ponto de vista de construção, o projeto da ETA Porto Novo (Figura 1) construído na forma de módulos, permitiu um ganho significativo de vazão em relação ao projeto original (ETA Convencional), e a utilização de pré moldados alinhada a redução do número de instalações necessárias, acelerou o tempo de execução civil, elétrico e hidráulico desta planta que é mais compacta, sendo construída no curto espaço de 13 meses, a característica modular desta ETA, assegura sua expansão a um baixo custo.

Figura 1 – Foto Estação de Tratamento de Água Porto Novo na época da inauguração (esquerda) e nos dias atuais (direita).



Do ponto de vista operacional, a ETA tem uma complexidade única de operação, mesmo parcialmente automatizada, depende da qualidade e capacitação dos técnicos operadores para que os resultados sejam alcançados de forma plena. Vale ressaltar que a Estação é abastecida por 3 pontos de captação distintos, o que confere variações constantes na qualidade da água bruta, afetando diretamente nos ajustes de produto químico para etapa de coagulação. Essa característica da água bruta dificulta ainda mais o ajuste ótimo de pH, exigindo do corpo técnico alto grau de conhecimento em práticas de coagulação/floculação.

A água produzida atinge hoje aos padrões da Portaria GM/MS 888/2021, sendo este um desafio constante, visto que a estação foi concebida para atender a Portaria 36 GM de 19/01/1990. Além disso, a qualidade da água bruta analisada na época da concepção tinha características de turbidez e cor muito inferiores as encontradas atualmente no manancial.

Tabela 1 – Parâmetros Água Bruta ETA Porto Novo

	Turbidez (NTU)	Cor (UC)	pH
Concepção ETA	1,5	20	6,3
Atual	13	38,7	6,3

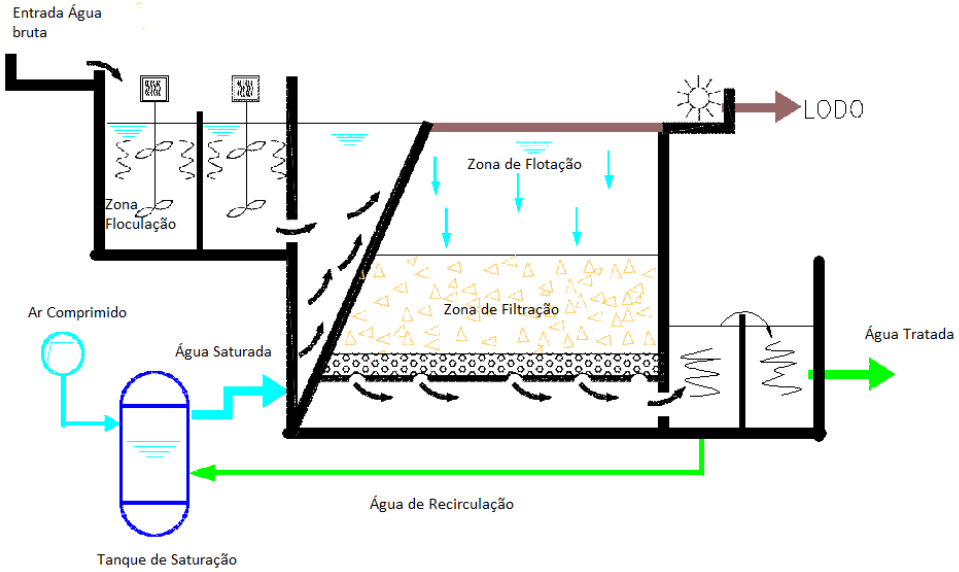
Fonte: Registros Operacionais ETA Porto Novo

No entanto, podemos garantir que o processo oferece uma água de excelente qualidade além de oferecer um paladar muito agradável, pois o processo elimina os gases que normalmente estão dissolvidos, conferindo sabor característico e muitas vezes indesejáveis ao paladar dos clientes.

PRINCÍPIOS

O princípio de funcionamento da técnica de flotação por ar dissolvido (FAD) é um processo de separação físico baseado no arraste para a superfície de partículas sólidas (colóides), na forma de flocos presente na massa líquida estabilizada pela ação do coagulante. A ascensão das partículas se dá através da adição de pequeníssimas bolhas de ar produzidas pela redução brusca de pressão na corrente líquida saturada de ar. A figura 2 ilustra as fases que compões um processo por flotofiltração.

Figura 2 – Croqui com as fases que compõe o processo por flofiltração.



Por meio de uma bomba, uma pequena quantidade de água clarificada (5 a 10% da vazão que passa pela unidade) é elevada à pressão de 4 – 6,5 atm e conduzida ao tanque de saturação, onde se torna saturada pela injeção de ar através de compressor.

A água saturada com ar é misturada à água floculada numa câmara de expansão que antecede os flofiltros, momento no qual o excesso de ar comprimido dissolvido na água de recirculação se desprende na forma de micro bolhas, aderindo quase que instantaneamente aos flocos, reduzindo sua massa específica, que posteriormente são arrastados a superfície dando origem a um manto de lodo que é periodicamente removido por raspadores mecânicos.

Para ambas as técnicas de separação, convencional e flotação, podem ser explicadas pela Lei de Stokes, conforme equação (1):

$$\mathbf{V = K.\ d^2.\ (p\text{-}1)} \qquad \text{equação (1)}$$

Onde:
V = Velocidade partícula em relação à água
d = Diâmetro partícula
p = Densidade da partícula

É interessante salientar que a densidade dos flocos em ETA convencional é da ordem de 1,005 e seu diâmetro varia de 1 a 3mm, já na técnica FAD, quando os flocos entram em contato com as micro bolhas, sua densidade passa para 0,98 dando origem a uma velocidade ascensional até 10 vezes superior à velocidade de decantação, conforme citação do Dr. Carlos Richter, essa situação permite uma taxa de aplicação que chega a 518 m^3/m^2/dia. Mas, na pratica se adotam valores como os da Tabela 2 na qual resume-se a experiência mundial para a técnica de FAD. Na comparação entre o processo de flotação e decantação, observa-se a velocidade que o processo de flotação consegue arrastar os flocos formados, sendo um processo mais rápido.

Tabela 2 – Síntese principais parâmetros operacionais técnico FAD

Parâmetros	Holanda	Reino Unido	Escandinávia	Brasil e Uruguai	*ETA Porto Novo
Tempo de floculação (min)	816	20-29	26-29	3,5-24	9
Tempo de flotação (min)	nd	43952	42339	45931	10
Taxa de aplicação superficial (m^3/m^2/dia)	240-480	120-290	96-170	96-320	222
Taxa de recirculação (%)	6,5-15	45205	41730	45265	10
Pressão de Saturação (bar)	45142	3,1-8,3	4,7-5,5	4,5-5	4,0-6,5
Processo de Remoção de Lodo	nd	Mecânico	Hidráulico	Mecânico/ Hidráulico	Mecânico

Fonte: Richter Carlos A., Água Métodos e Tecnologia de Tratamento – São Paulo: Blucher, 2009.
*Informações Obtidas no Manual Operacional da ETA Porto Novo.

Na técnica FAD, assim como na convencional, pode-se trabalhar com dois parâmetros principais que vão influenciar na eficiência do tratamento:

- Tamanho e número de partículas, determinados pela escolha do coagulante e ajuste do pH ótimo de floculação.
- Diferença da densidade, no caso da FAD, variando a pressão e taxa de recirculação e consequentemente concentração de microbolhas.

Esses parâmetros são determinantes para garantir a qualidade da água final, em ocasiões em que há aumento significativo da turbidez de água bruta, gerando flocos de massa específica maior, é imprescindível que o operador da ETA faça ajustes na saturação, visando aumentar a taxa de recirculação de água saturada formando microbolhas de diâmetros menores e em maiores concentrações.

Além disso, é importantíssimo a formação de flocos volumosos, porém leves, ideais para técnica FAD. Essa característica só é possível através da dosagem e ajuste de pH ideais para se ter flocos com tais características físico-químicas. É fundamental garantir a estabilidade eletrostática dos flocos para adesão das microbolhas de ar, flocos carregados eletricamente causam repulsão das microbolhas, carregadas negativamente. De acordo

com Fukushi (1995), uma adesão adequada para a flotação de água turvas ocorre com uma mobilidade eletroforética entre 0 e +1 µm/s*V*cm, e, para água com predominância de cor, entre -1 e +1 µm/s*V*cm. Sendo assim, é fundamental a escolha de coagulante químico que apresente pH ótimo correspondente à desestabilização das partículas, ou próximas dessa condição.

OPERAÇÃO DO SISTEMA

Captação de Água bruta

A água bruta é captada em três pontos distintos: Sendo dois no Alto Rio Claro, mananciais preservado nos altos da Serra do Mar que chegam por uma adutora por gravidade, com vazão aproximada de 1100m³/h e Baixo Rio Claro, localizada na parte baixa do Rio Claro onde está construído um sistema de captação com uma lagoa de estabilização e bombeamento da água bruta, com capacidade de vazão de 1700m³/h. A lagoa foi concebida com a finalidade de garantir uma água bruta com qualidade mais uniforme, e com menor teor de sílica em suspensão, que também objetiva a remoção de grande quantidade de folhas que normalmente são arrastadas pelas águas na época de chuvas e dos ventos fortes, folhas estas de difícil remoção nos filtros.

Recepção de Água Bruta

A água bruta chega na estação através de duas adutoras, uma de 400 mm, de ferro fundido, advinda da Captação do Alto Rio Claro e outra 600m, de PEAD, da Captação do Baixo Rio Claro. As correntes líquidas se misturam numa caixa de equalização que antecede a calha de entrada da ETA. Na figura 3 é possível identificar a chegada de água bruta na calha Parshall da ETA. Deve-se destacar a alta concentração de microbolhas de ar na entrada da calha, característica determinante para escolha da técnica FAD de tratamento.

A estação tem uma capacidade nominal de tratamento de 1.980 m³/h de água, tendo registros em Boletim Operacional de vazão captada de até 2800 m³/h recebidos na calha Parshall. Na entrada estão instalados os pontos para aplicação da pré-desinfecção (hipoclorito de sódio) identificado pela tubulação na cor amarela, da pré-alcalinização (hidróxido de cálcio) identificado pela tubulação na cor lilás, e após a Calha Parshall está o ponto de aplicação do coagulante, Policloreto de Alumínio, identificado pela tubulação na cor laranja.

Figura 3 – Imagem Ilustrativa Zona de Recebimento Água Bruta e Aplicação Coagulante



Para o monitoramento da vazão e dosagem, a Calha Parshall possui um medidor de vazão do tipo ultrassônico que é monitorado periodicamente pela equipe operacional.

A Calha Parshall foi projetada para ocorrer o processo de mistura rápida, essa água segue para o tanque de coagulação e é transferida para os tanques de floculação através de suas respectivas comportas, conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4 – Imagem Ilustrativa Comportas Entrada Tanque de Floculação.



Floculação – Mistura Lenta

O volume coagulado é endereçado a três sistemas distintos e idênticos de floculação mecanizada. A floculação dos coágulos é promovida em três etapas com diferentes gradientes, introduzidos por floculadores mecânicos de fluxo axial.

Para garantir a eficiência na etapa seguinte de flotofiltração, é de extrema importância o crescimento dos flocos em tamanho específico que proporcione a posterior ascensão à superfície. A estabilidade eletrostática dos flocos é fundamental para adesão das microbolhas aos flocos. Sendo assim, é imprescindível estudos que viabilizem o coagulante químico a ser utilizado e constantes ensaios em escala laboratorial, utilizando Jar-Test.

No processo de flotação, os floculadores são projetados com gradiente de velocidade ligeiramente superiores aos processos de sedimentação, de modo a dar formação de flocos de dimensões menores que o convencional. A operação dos floculadores restringe-se em mantê-los acionados, pois a formação de flocos está diretamente relacionada à cinética das partículas e pH de floculação.

Como na técnica FAD, ao contrário do tratamento convencional, não é condicionante flocos de grande tamanho, pesquisadores como – Edzwald, Bunker, (1995) demonstraram ser suficiente e viável tempo de floculação de apenas 5 min, sem comprometer a eficiência de remoção na etapa seguinte. Essa informação se confirma, visto que a ETA Porto Novo opera satisfatoriamente mesmo com vazões muito acima da nominal de projeto.

O processo de floculação ocorre em 3 câmaras e a agitação é feita por meio de quatro floculadores mecânicos de fluxo axial, totalizando doze agitadores. A tabela 3 informa a dimensão dos tanques e o cálculo do tempo de detenção.

Tabela 3 – Dimensões Tanques de Floculação

Floculação – mistura lenta	TANQUE 1	TANQUE 2	TANQUE 3
Comprimento	5,05 m	5,05 m	5,05 m
Largura	4,65 m	4,65 m	4,65 m
Altura Máxima do líquido	4,60 m	4,60 m	4,60 m
Altura Total	4,90 m	4,90 m	4,90 m
Nível Mínimo de Agitação	1,50 m	1,50 m	1,50 m
Volume	108,02 m^3	108,02 m^3	108,02 m^3

Cálculo do tempo de detenção para vazão de 2150 m^3/h: $t_d\ (min) = \frac{V\ (m^3)}{Q(m^3/min)}$

Fonte: Manual de Operação da ETA Porto Novo

A água floculada é endereçada à câmara de expansão, onde ocorre a despressurização da corrente de água saturada e adesão das microbolhas de ar aos flocos formados na etapa anterior. Após, ocorre a etapa de flotação.

Flotofiltração – Separação Física

A flotação dos flocos é obtida através da injeção de água saturada na corrente de água floculada na zona de reação, na qual as microbolhas geradas pelo sistema de descompressão e a suspensão a ser tratada são postas em contato, formando aglomerados partícula-bolhas. O sistema de flotofiltração é composto de três câmaras paralelas entre si, cada uma delas com 12 m de comprimento por 6m de largura. Sendo seu volume de 907,2 m³.

A figura 5 ilustra o flofiltro com um manto de lodo devido a flotação.

Figura 5 – Flofiltro da ETA Porto Novo com manto de lodo



Para possibilitar a flotação é necessário produção e fornecimento de água saturada. O volume de água utilizado na flotação das impurezas é agregado à vazão de recirculação de água tratada em dois tanques de mistura controlados automaticamente (tanques de água saturada). A taxa de recirculação de água tratada para produção de água saturada é de aproximadamente 10% da vazão tratada, ou seja, cerca de 210 m³/h na vazão nominal da ETA. O volume de entrada de ar é fixo, sendo introduzido continuamente nos tanques. Um ejetor promove a mistura de ar/água, sendo a pressão constante. Para alimentar as câmaras de saturação com ar utiliza-se dois compressores e um tanque pulmão os qual trabalha com uma pressão entre 4,5 a 7,0 bar.

A mistura de ar/água (água saturada) é introduzida em cada um dos flofiltros, sendo agregada à vazão de água floculada através de válvulas injetoras que promovem a formação de microbolhas. Cada válvula de injeção possui um ajuste manual de modo a obter-se uma dispersão ideal e uniforme, reconhecida pela característica natural da água saturada com ar.

Em seguida ocorre a flotação, a ascensão das microbolhas injetadas na entrada dos flofiltros eleva os flocos que se agregam na superfície da água, formando o manto de lodo que é levado pelo movimento hidráulico até os raspadores mecânicos de superfície localizados na extremidade de cada tanque.

Concomitante a etapa de flotação acontece a filtração da corrente líquida que passa pelo flofiltro. A vazão de água clarificada é mantida abaixo do manto de lodo flotado, sendo continuamente filtrada em um manto de 72 m³ de areia com granulometria de 0,9mm. A filtração é mantida em taxa constante através de um controle automático de nível, que atua proporcionalmente a abertura da válvula do flofiltro.

A operação de filtração é automática, podendo ser interrompida para retrolavagem por causa da turbidez ou por perda de carga. A Carreira de filtração dos filtros, isto é, o tempo de filtração entre retrolavagens, está estimado em 22 horas, podendo reduzir nos períodos em que há elevação da turbidez de água bruta.

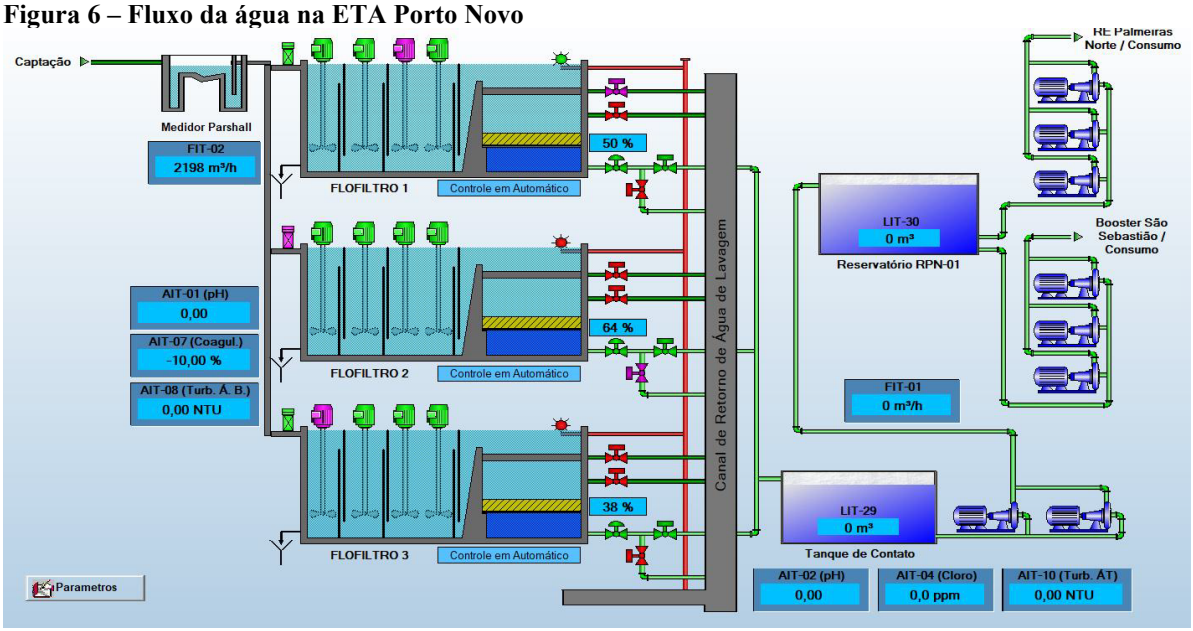
Leito filtrante, diante da boa qualidade da água clarificada, permitiu adotar taxa de aplicação da ordem de 222m³/m²/dia, superior as taxas usadas no Brasil para essa tecnologia que variam de 180 a 200 m³/m²/dia.

Os bocais de distribuição de fundo são tipo sexto, com aberturas paralelas, fixados em placas de concreto pré moldadas, de 1m² cada, aparafusadas em pilaretes concretados na base do filtro, de modo a serem removidos para eventual manutenção, todos os filtros possuem escotilhas de acesso para uma possível manutenção.

Tanque de Contato – Ajustes Finais

O volume filtrado recebe através de uma caixa de passagem, a aplicação do Pós Alcalinizante (hidróxido de cálcio) para correção de pH, do fluoreto (ácido fluossilícico) e do Pós Desinfectante (hipoclorito de sódio) e é endereçado ao reservatório denominado tanque de contato, e posteriormente bombeado para o reservatório RPN2 e RPN1. A figura 6 ilustra o fluxo da água na ETA.

Figura 6 – Fluxo da água na ETA Porto Novo



Como resultado final, água filtrada, de excelente qualidade e de baixíssima turbidez, com uma completa ausência de gosto ou odor, que normalmente são detectados em plantas clássicas. Água final absolutamente inodora e insípida, sendo detectado apenas leve presença do residual de cloro por profissionais degustadores, imperceptível aos consumidores.

PARÂMETROS DE QUALIDADE ETA PORTO NOVO

A tabela 4 relaciona parâmetros de qualidade da água final da ETA Porto Novo ao longo do tempo. Esses resultados referem-se aos registros operacionais dos técnicos operadores da ETA Porto Novo desde o ano de 2015 até dezembro de 2022.

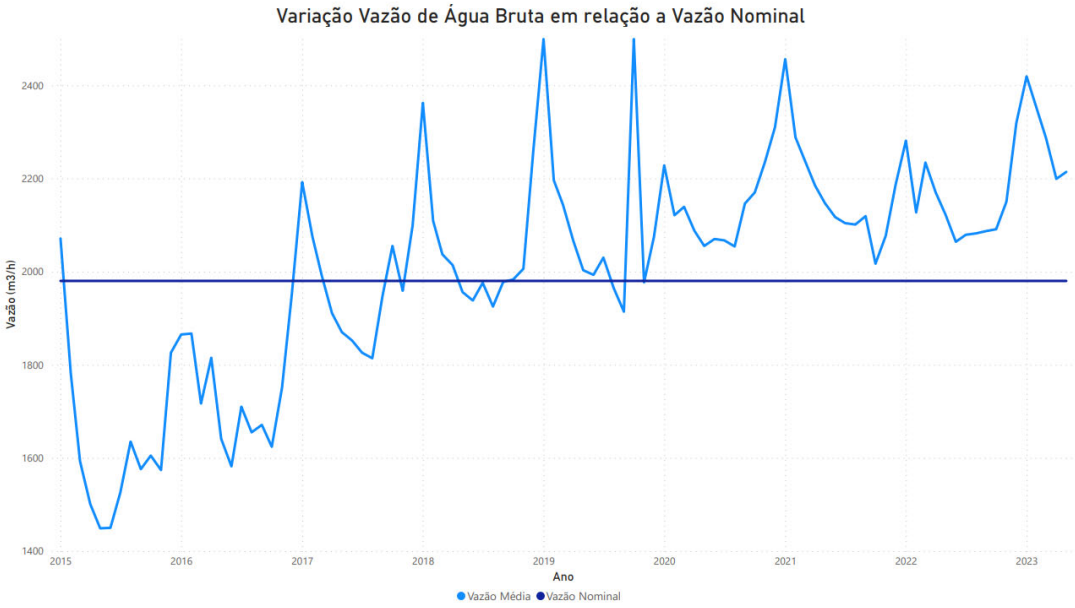
Tabela 4 – Resultados média anual das análises – Água Bruta e Final da ETA Porto Novo

Ano	Média Vazão Produção (m³/h)	Média Cor Bruta (uC)	Média Turbidez Bruta (NTU)	Média Cor Tratada (uC)	Média Turbidez Tratada (NTU)
2015	1632	26,60	8,34	6,47	0,56
2016	1738	20,19	8,60	3,17	0,80
2017	1966	27,40	6,80	6,79	0,89
2018	2045	36,60	9,52	6,79	1,14
2019	2113	43,84	13,25	4,84	0,77
2020	2140	38,03	12,23	4,37	0,76
2021	2170	36,32	11,63	3,54	0,76
2022	2150	34,21	11,78	3,35	0,56

Fonte: Boletim Operacional ETA Porto Novo

Pela tabela 4 é possível observar como a ETA Porto Novo, mesmo registrando aumento de produção em aproximadamente 40% nos últimos anos, mantém a qualidade da água tratada e até registrou melhora da remoção de turbidez em 2022, 24 anos após sua concepção. Abaixo segue figura 7, gráfico relacionando a variação da vazão média anual desde 2015 até 2022:

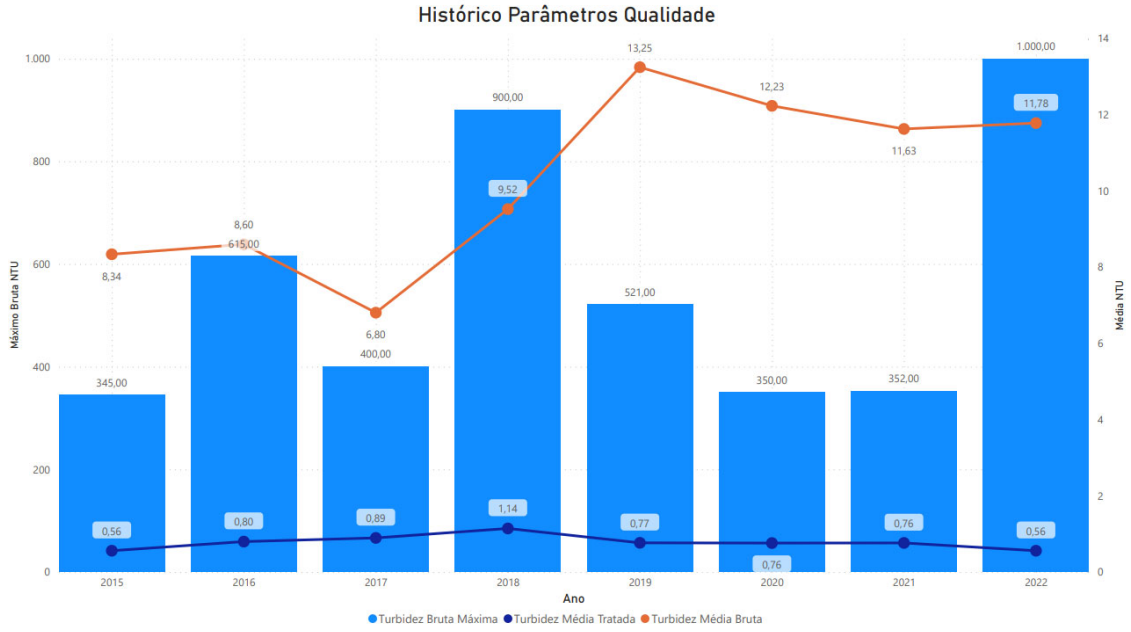
Figura 7 – Variação da Vazão Média Adução de Água Bruta em relação a Nominal



Esses resultados são possíveis graças a característica da técnica FAD de apresentar excelente capacidade de tratamento para tempos de detenções baixos, ou seja, com vazões de produção significativamente acima da nominal de projeto.

Além da variação da média anual da vazão captada na Estação, outro fato relevante que deve ser pontuado, é alteração dos parâmetros de qualidade do manancial. Pela tabela 4 é possível observar aumento considerável na média dos valores de turbidez e cor do manancial, detalhado na representação gráfica, figura 8, a seguir:

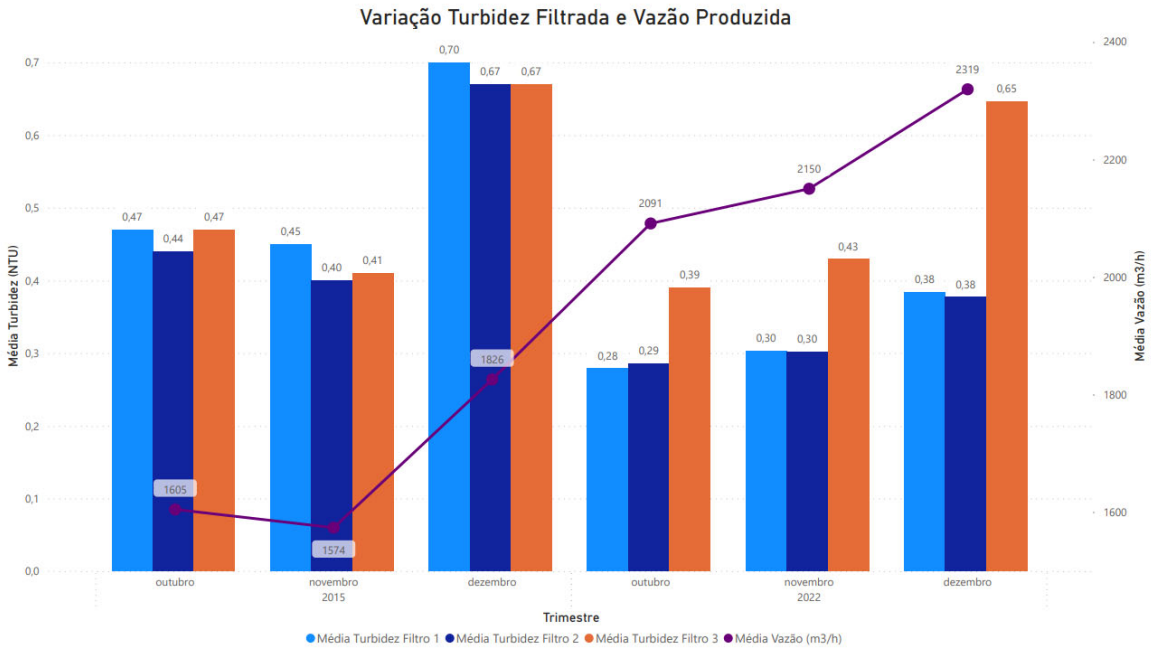
Figura 8 – Histórico Parâmetros Qualidade Água Bruta e Tratada



Na figura 8 é possível observar o aumento da média de turbidez de água bruta a partir do ano 2018, também relaciona os valores máximos de turbidez de água bruta registrados em cada ano. Importante destacar o máximo registrado em 2022 de 1000 NTU, nunca antes observado pelo corpo técnico operacional. A eficiência desta técnica se confirma, quando mesmo os parâmetros de turbidez da água bruta aumentando durante os anos a qualidade da água tratada se mantém, registrando até melhora em 2022.

Visando avaliar a performance de produção da ETA, comparou-se trimestre 17 e 24 anos após concepção da Estação de Tratamento, figura 9:

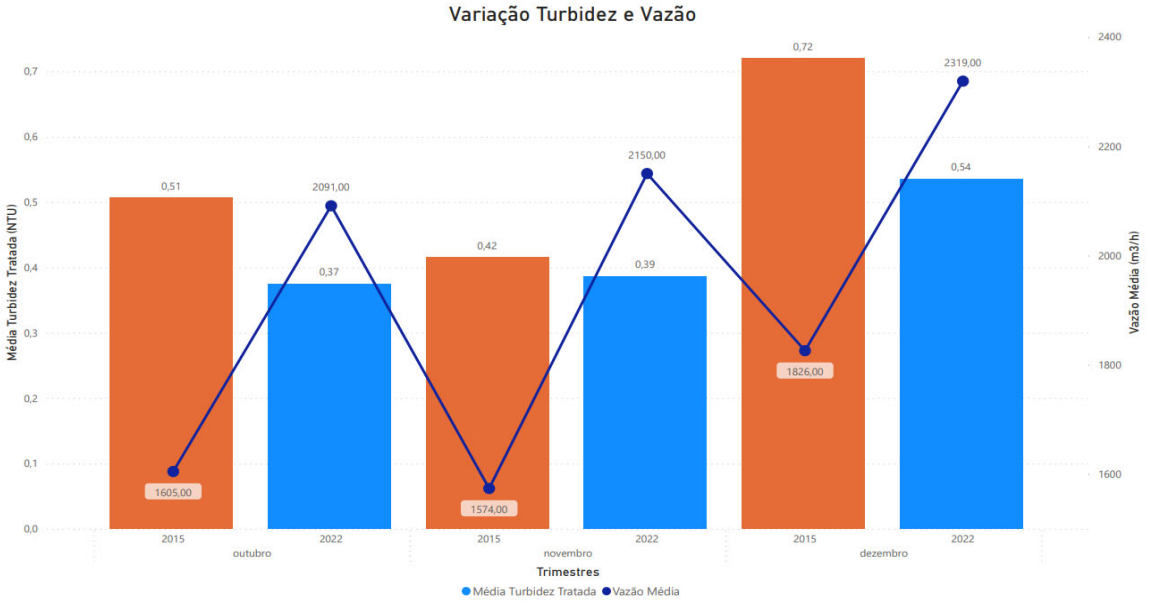
Figura 9 – Variação do valor médio mensal de turbidez nos filtros e vazão média de produção por trimestres



Os meses escolhidos para comparação foram outubro, novembro e dezembro de 2015 e 2022 respectivamente. Pelo gráfico é possível observar melhora da qualidade da água dos filtros em 2022, mesmo a ETA registrando aumento considerável da vazão de produção. Em dezembro inicia o período da alta temporada no litoral norte de São Paulo, em que há aumento dos turistas na região devido ao período das férias escolares e datas festivas, confirmado pelo gráfico. Outra importante informação extraída é que atualmente os resultados de turbidez registrados no filtro 3 da ETA Porto Novo estão consideravelmente acima dos outros filtros, e em dezembro, quando a ETA opera com sobrecarga de vazão essa diferença dos resultados é ainda maior, evidenciando possíveis problemas na infraestrutura do filtro 3.

Prosseguiu-se com análise comparativa dos trimestres compreendidos pelos meses outubro, novembro e dezembro anos 2015 e 2022 para o parâmetro de qualidade turbidez da água final, relacionando também com a média mensal de vazão de produção, figura 10. Assim como observado para a qualidade de turbidez dos filtros, os resultados de turbidez registraram melhora em 2022, isso pode ser explicado pela evolução do corpo técnico operacional da ETA, melhorias e manutenção corretiva em alguns equipamentos e etapas do processo (que serão detalhados em próximo artigo técnico).

Figura 10 – Variação do valor médio mensal de turbidez da água tratada e vazão média de produção por trimestres



Na figura 10, as colunas em laranja representam parâmetro de qualidade água tratada em 2015, em azul ano de 2022.

Em dezembro de 2022, mesmo com vazão de produção 27% acima registrada em 2015, a ETA apresentou redução de 30% da média de turbidez da água tratada, excelente resultado alcançado, comprovante a eficiência dessa técnica e a importância de manutenções periódicas no sistema e aprimoramento do corpo técnico com o tempo.

Por fim, segue tabela 5 com dados atuais do ano de 2023, referente a qualidade da água final coletadas pelo Laboratório da Divisão de Controle de Controle Sanitário do Litoral Norte do estado de São Paulo.

Tabela 5 – Variações Parâmetro Qualidade Água Final Ano 2023

Data	Média Cor Tratada (uC)	Média Turbidez Tratada (NTU)
jan/23	2,00	0,62
fev/23	2,13	0,86
mar/23	1,00	0,45
abr/23	1,00	0,27
mai/23	2,13	0,39
Total	1,64	0,52

Fonte: Relatório Laboratório da Divisão de Controle Sanitário do Litoral norte ESP

Vale ressaltar, que em fevereiro de 2023, o Litoral Norte do Estado de São Paulo sofreu com intensas chuvas que comprometeram expressivamente a qualidade dos mananciais. Vale destacar que o processo de flotofiltração é sensível a variações bruscas de cor e turbidez da água bruta. Apesar do manancial de serra, preservado, apresentar uma média de turbidez baixa durante o ano, há períodos de chuvas que os parâmetros de água bruta extrapolam, comprometendo a qualidade da água final.

Apesar deste evento em fevereiro do ano 2023, os resultados apresentados na tabela 5, evidenciam que mesmo a ETA Porto Novo operando atualmente com uma vazão de produção média 20% acima da nominal de projeto, consegue manter a qualidade da água distribuída, em conformidade com a Portaria GM/MS N° 888 mai/2021.

CONCLUSÃO

O sistema apresentado com o uso da técnica de flotofiltração por ar dissolvido – FAD, quando implantado foi inédito na América do Sul, em seu porte e processo para o uso nos serviços de abastecimento público. Esse, encontra-se em operação e abastece parte dos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião no Litoral Norte do Estado de São Paulo.

Os aspetos que definiram à época a escolha deste processo eram a economia de tempo e dos valores investidos, este trabalho visa apresentar o registro histórico da implantação e uso desta planta de tratamento, com destaque especial aos parâmetros operacionais com considerações do projeto empregado, concepção e destaques registrados pela operação.

Quanto a operação e dos resultados obtidos deve ser destacado os pontos relacionados com a qualidade da água e o funcionamento da estação, os quais destaca-se em 2023, 25 anos após concepção da Estação, turbidez média da água final 0,52 NTU, segundo relatório de análises do Laboratório da Divisão de Controle Sanitário do Litoral Norte de São Paulo. Excelente resultado quando se opera a ETA Porto Novo, atualmente, com média de vazão de produção 20% acima da vazão nominal de projeto. Evidenciando a eficiência desta técnica de tratamento.

Vale destacar a sensibilidade deste tipo de tratamento com variações bruscas dos parâmetros de cor e turbidez da água bruta, condição essa, que exige corpo técnico operacional altamente qualificado e especializado. Diferente do tratamento convencional, a flotação apresenta tempo de detenção reduzido, exigindo agilidade e rapidez nos ajustes operacionais.

Os autores evidenciam a elaboração de ao menos mais 2 trabalhos, sendo 1 mais específico aos resultados operacionais descrevendo os limites da operação para o caso específico da FAD na unidade Porto novo em Caraguatatuba, SP, além de um trabalho descrevendo as oportunidades de melhoria e adequações necessárias ao logo de seus 25 anos de operação, com uma ênfase sobre as características da água para uso do processo descrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUNKER, D. Q. Jr.; EDZWALD, J. P.; DAHLQUIST, J. GILBERT, L. PRETREATMENT *Considerations For Dissolved Air Flotation: Water Type, Coagulants, And Floculation.* Wat. Sci. Tech, 31, p. 1-23, 1995.

2. CAMPOS JR., D.J. e SOUZA G.A.D.B., (2019). *Sustentabilidade: Um Estudo Sobre o Processo De Flotação Por Ar Dissolvido (FAD) De Uma Estação De Tratamento De Água Da Região Metropolitana De Belo Horizonte Na Remoção De Algas Cianobactéria e Turbidez*. Revista EA, Volume XVIII, N° 68, Link permanente: http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3714.

3. CAMPOS, J.R. e REALI M.A.P., (1985). *Emprego Da Flotação Por Ar Dissolvido No Tratamento De Água Para Abastecimento*. Revista DAE; V.45 (142) : 290-97.

4. FUKUSHI, K.; TAMBO, N.; MATSUI, Y. *A Kinetic Model For Dissolved Air Flotation In Water And Wastwater Treatment*. Xat. Sci. Tecfh., 31, p. 37-47, 1994.

5. MARIANO, C., (1998). *Manual De Operação Da ETA Porto Novo*, CFA; volume 1: p. 1-78.

6. RICHTER, C.; CRISTAR V. e GROSS F., (1996). *Clarificacional De Água Por Flotaction Com Aire Disuelto – Aplicaciones Desarrolladas Em Uruguay y Brasil*; p. 1-8.

7. SABESP, COMPANHIA DE SAMNEMTNO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *ETA Porto Novo Manual de Operação*, RNDC2, (2022) – PO-AG1341.

8. SABESP, COMPANHIA DE SAMNEMTNO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Apontamentos Operacionais*, RNDC2, (2015-2022) - Formulário Operacional FO-AG0046 disponível na rede SABESP.

9. SIMÕES, J. C. et al. *ETA De Grande Porte Pelo Processo Flotofiltração 100 % Automatizada Para Abastecimento Público*. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental - ABES, ANO 1999.

10. Portaria GM/MS 888, de 4 de maio de 2021 - Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.