

## I-394 - AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE LAVAGEM DOS FILTROS DE UMA ETA DE FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE

**Pedro Victor Freitas Sarmiento<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

**Isabella Leandro Soares Pereira<sup>(2)</sup>**

Química pela UFRN. Especialista em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Mestre em Engenharia Sanitária pela UFRN.

**Hélio Rodrigues dos Santos<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil pela UFRN. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Associado da UFRN.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Abel Cabral, 505 – Nova Parnamirim – Parnamirim – Rio Grande do Norte – CEP: 59150-250 – Brasil – Tel: +55 (84) 99113-9559 – e-mail: [pvector.sarmiento@gmail.com](mailto:pvector.sarmiento@gmail.com)

### RESUMO

A filtração direta descendente (FDD) é uma operação empregada em estações de tratamento de água (ETAs) para remoção de partículas da água de mananciais com baixa turbidez, cujo tratamento não necessita da etapa de clarificação (sedimentação ou flotação). Devido ao reduzido número de unidades de tratamento (barreiras sanitárias), o emprego da FDD exige que a operação da mesma seja precisa, com especial atenção à limpeza e manutenção dos filtros. Assim, o presente trabalho visa elaborar um diagnóstico do sistema de filtração de uma ETA de FDD *em linha* que abastece cerca de 100.000 habitantes de Natal/RN, e que trata a água de uma lagoa costeira. O processo de lavagem dos filtros foi caracterizado a partir do monitoramento da turbidez da água de lavagem na saída do filtro, bem como pela medição de expansão do meio filtrante durante a lavagem. Além disso, foi monitorada a turbidez da água filtrada, para averiguar a ocorrência do problema de transpasse de impurezas, e foram verificadas as condições atuais do meio filtrante de areia, através da caracterização granulométrica do material, da batimetria da superfície do meio filtrante e da avaliação *in loco* quanto à presença de bolas de lodo no material filtrante. Os resultados indicaram baixa eficiência na remoção de sólidos do meio filtrante durante os procedimentos de lavagem, com a provável necessidade de reativação de lavagem com ar (juntamente com água), prevista originalmente no projeto da ETA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de Água, Estação de Tratamento, Filtração Direta, Lavagem de Filtro, Meio Filtrante.

### INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) objetivam melhorar a qualidade de uma determinada água bruta através de uma sequência de processos, visando o atendimento de um padrão de potabilidade vigente, que, no Brasil, atualmente está estabelecido na Portaria MS 888/2021. Dentre os diversos processos geralmente utilizados em ETAs, a filtração se destaca por sua importância para a segurança sanitária da água tratada, uma vez que este processo constitui uma etapa crucial para a remoção física de organismos patogênicos da água. Di Bernardo et al. (2011) conceituam a filtração como a “remoção de partículas (suspensas e coloidais, incluindo microrganismos) da água que escoam através de um meio poroso”. Nas concepções de ETAs mais simples, como a filtração direta descendente (FDD), a filtração se configura no único processo empregado na remoção de partículas, pois são dispensadas as unidades de clarificação (decantação ou flotação) e geralmente também de floculação, de modo que o funcionamento “preciso” dos filtros (o que inclui a coagulação e eventual pré-oxidação apropriados) constitui o fator mais importante para a obtenção de água tratada com a qualidade exigida.

Dentre as tecnologias de tratamento de água, a filtração direta descendente (FDD) tem sido bastante empregada no Brasil e em outros países em desenvolvimento devido aos menores custos de implantação da ETA e também à simplificação da operação e menor custo com produtos químicos, dentre outras vantagens. A tecnologia tem sido empregada em ETAs para remoção de partículas da água de mananciais com baixa

turbidez, cujo tratamento não necessita da etapa de clarificação (sedimentação ou flotação). Assim, devido ao reduzido número de unidades de tratamento (barreiras sanitárias), o emprego da FDD exige que a operação da mesma seja precisa, com especial atenção à limpeza e manutenção dos filtros.

Segundo Di Bernardo et al. (2011), durante o funcionamento de um filtro, o material granular tende a ser preenchido por impurezas em seus espaços vazios, havendo a necessidade de lavagem do filtro após um determinado tempo, isto é, após o encerramento da carreira de filtração. Essa lavagem é realizada geralmente pela introdução de água no sentido ascensional, com velocidade elevada, a fim de gerar a fluidificação parcial do meio granular, liberando as impurezas. Há ainda a possibilidade de lavagem dos filtros com ar e água, isolada ou simultaneamente, constituindo-se em um método de lavagem mais eficiente que a lavagem apenas com água (DI BERNARDO et al., 2011).

Na cidade de Natal/RN, cerca de 30% da água que abastece às zonas Sul, Leste e Oeste é proveniente da Estação de Tratamento de Água (ETA) Jiqui, que trata a água do manancial homônimo, a Lagoa do Jiqui. A ETA Jiqui foi inaugurada no início da década de 1980, concebida com base na tecnologia de filtração direta descendente (FDD) *em linha*, que contempla basicamente as etapas de coagulação (e eventual pré-oxidação), seguida de filtração em meio granular (atualmente, areia com granulometria uniforme) e desinfecção final com cloro, como processos para o tratamento. A coagulação é feita atualmente com policloreto de alumínio (PAC).

Embora a bacia hidrográfica do Rio Pitimbu, na qual se localiza a lagoa do Jiqui, venha sofrendo ações antrópicas, na forma de intensa urbanização da região, as características físico-químicas e microbiológicas da água da lagoa não sofreram alterações significativas, principalmente quanto à presença de partículas (turbidez), o que pode ser percebido pelo comparativo entre os estudos de qualidade de água de Duarte (1999) e Sousa Filho (2014), ambos realizados na Lagoa do Jiqui (Ver Tabela 1).

**Tabela 1: Comparativo de Parâmetros de Qualidade da Água da Lagoa do Jiqui.** Fonte: Duarte (1999) e Sousa Filho (2014)

PARÂMETRO	DUARTE (1999)	SOUSA FILHO (2014)
pH	6,2	7,9
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,7	6,1
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	1,3	1,8
Coliformes Totais (NMP/100mL)	110	170
Nitrogênio Total (mg/L)	2,12	0,99
SST (mg/L)	77	53
Turbidez (UNT)	11,7	5,1

Ainda assim, e tendo em vista que a ETA Jiqui não recebeu modificações significativas desde o seu início de operação no ano de 1980, a mesma apresenta grande dificuldade para atingir os padrões estabelecidos na Portaria MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), com destaque para o valor máximo permitido (VMP) de turbidez na saída de cada um dos filtros da ETA de 0,5 UNT em 95% das amostras (e 1,0 UNT no restante das amostras mensais coletadas), em amostras coletadas a cada duas horas, principalmente em períodos chuvosos, quando a água da lagoa tende a apresentar elevação nos valores de turbidez (e cor).

Assim, esta pesquisa tem o objetivo de elaborar um diagnóstico *in loco* das condições atuais de funcionamento do sistema de lavagem de filtros da ETA Jiqui e, por conseguinte, sugerir melhorias para sua adequação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na ETA Jiqui, que trata a água da lagoa do Jiqui, situada em Parnamirim/RN (5°55'20''S e 35°11'28''W – ver Figura 1). A lagoa do Jiqui faz parte da bacia hidrográfica do Rio Pitimbu, podendo também ser “compreendida” como um trecho alargado desse rio. A capacidade máxima de acumulação da lagoa é de 460.000 m<sup>3</sup>, com área da bacia hidráulica de 15,25 ha e profundidade média de 5,5 metros. Além do rio Pitimbu, a lagoa também recebe a alimentação do Aquífero Dunas-Barreiras (LUCENA et al., 2008).

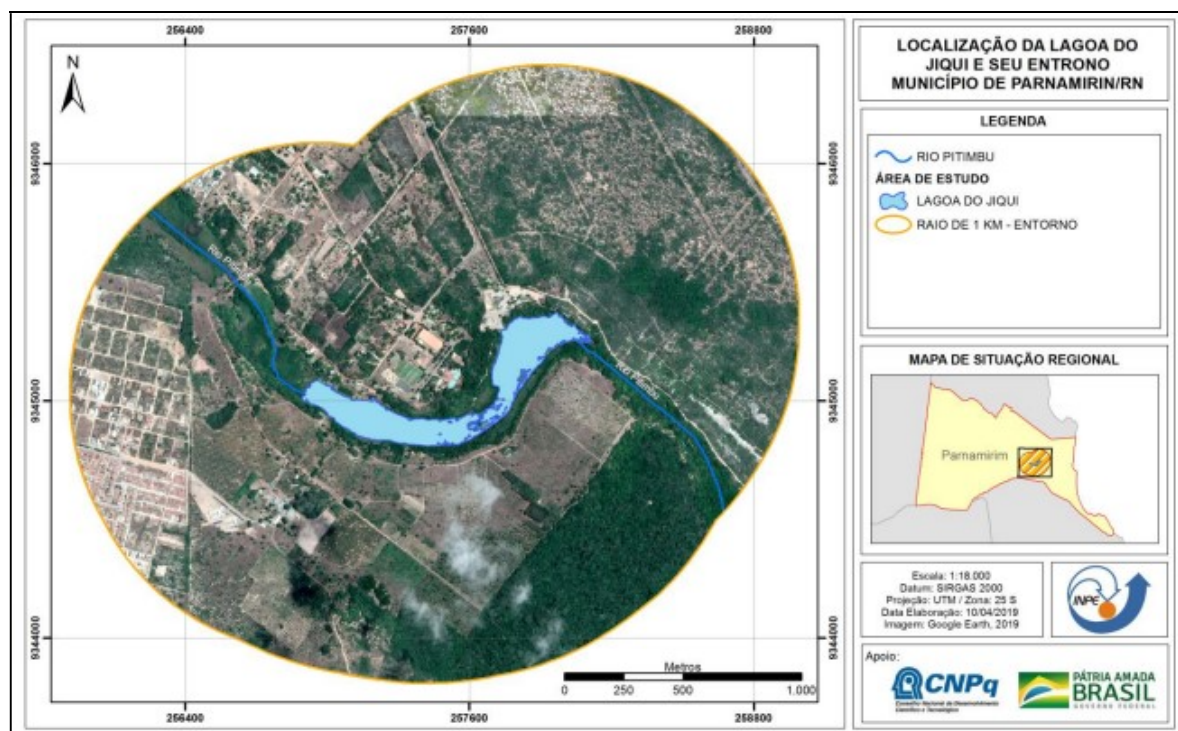


Figura 1: Localização da Lagoa do Jiqui no município de Parnamirim/RN. Fonte: Silva et al. (2019)

A vazão média de projeto captada da lagoa pela ETA Jiqui é de 500 L/s, sendo um pouco inferior em prática, abastecendo cerca de 30% das zonas Sul, Leste e Oeste de Natal/RN. A concepção da ETA Jiqui é do tipo filtração direta descendente em linha, na qual as seguintes operações estão presentes: coagulação (atualmente realizada com policloreto de alumínio), filtração descendente (em filtro atualmente constituído somente de areia) e desinfecção (com cloro gasoso), podendo também ser empregada a pré-oxidação com cloro (ver Figura 2).

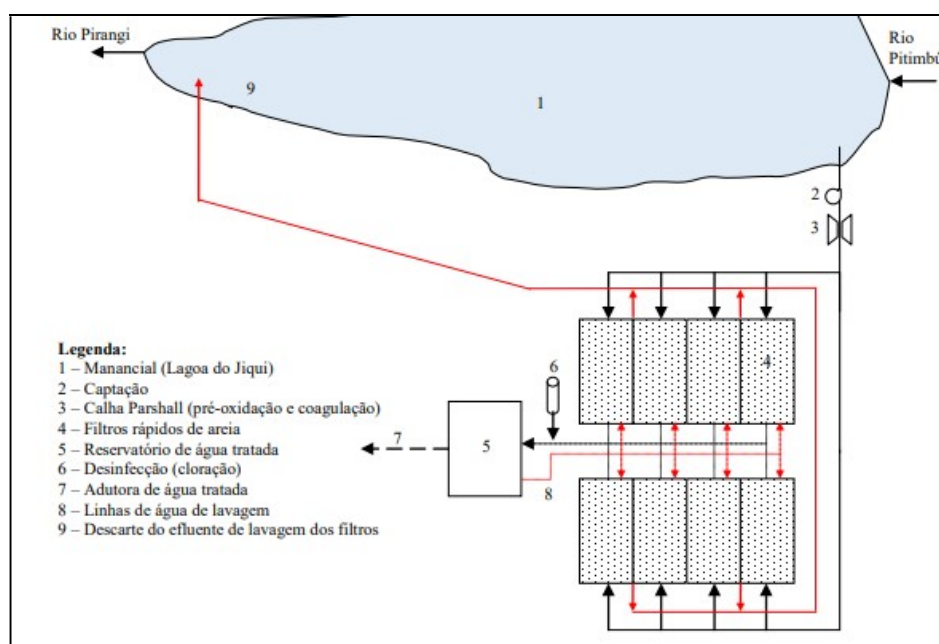


Figura 2: Fluxograma da ETA Jiqui. Fonte: Pereira et al. (2015)



O sistema de filtração da ETA Jiqui é “constituído de oito filtros, os quais são conjugados aos pares, totalizando quatro unidades filtrantes, com meio filtrante de areia” (PEREIRA et al., 2015). Cada filtro possui as dimensões de 7 metros de comprimento por 3 metros de largura, totalizando 21 m<sup>2</sup> de área individual e 42 m<sup>2</sup> para cada unidade filtrante. Uma carreira de filtração típica na ETA dura cerca de 24 horas, sendo que em períodos chuvosos a frequência de lavagem tende a ser maior, devido à maior concentração de sólidos na água bruta e, eventualmente, à maior dosagem de coagulante. O método de controle hidráulico dos filtros na ETA é por taxa declinante e nível variável, de modo que o critério utilizado para encerramento das carreiras de filtração consiste no filtro (ou o conjunto dos filtros) atingir carga hidráulica disponível, de maneira que é sempre lavado o filtro que se encontra em operação há mais tempo.

Na ETA Jiqui, os filtros são lavados em fluxo ascendente com cerca de 360 m<sup>3</sup> de água para cada unidade filtrante, em uma vazão de cerca de 667 L/s, com tempo de lavagem de 9 minutos. A água utilizada na lavagem, é a própria água tratada, que é armazenada em um reservatório na ETA (PEREIRA et al., 2015).

O diagnóstico do sistema de lavagem dos filtros da ETA Jiqui foi realizado a partir dos seguintes procedimentos, conforme proposto por Di Bernardo et al. (2011) e aplicado por Di Bernardo et al. (2017): (1) Avaliação da ocorrência de transpasse; (2) Avaliação da eficiência da lavagem dos filtros; (3) Avaliação da expansão do meio filtrante; (4) Avaliação da granulometria do meio filtrante e da presença de bolas de lodo; (5) Batimetria do topo do meio filtrante.

Em virtude da necessidade de drenagem do filtro para a subsequente amostragem de material do meio filtrante, bem como realização da batimetria, foi preciso interromper por algumas horas a operação das unidades filtrantes. Neste sentido, fora acordado com CAERN que apenas uma unidade filtrante (conjunto de duas células de filtração) seria esvaziada e nela coletadas as amostras, para que não houvesse prejuízos ao sistema de abastecimento. Esses filtros foram indicados pelos mesmos como sendo os filtros 5 e 6, mostrados na Figura 3, a seguir:

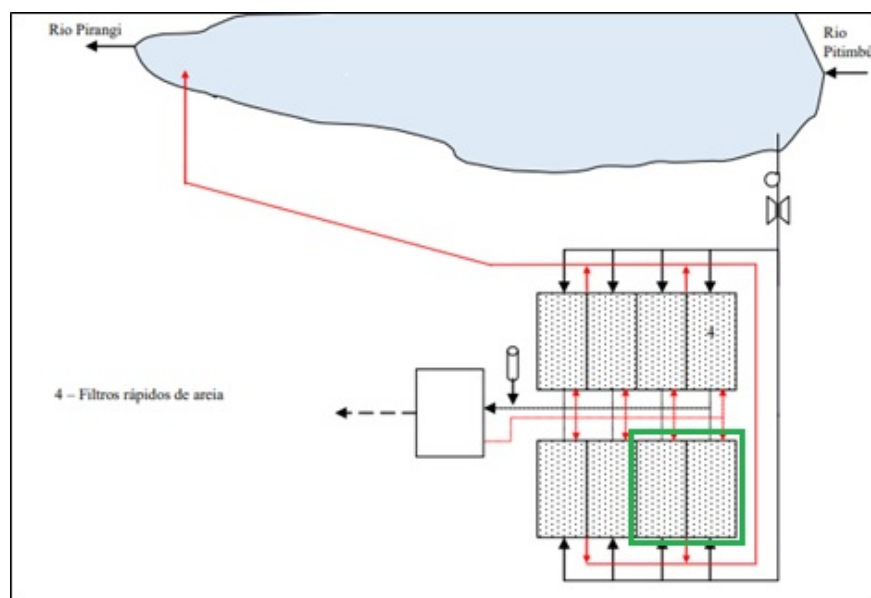


Figura 3: Células Filtrantes 5 e 6. Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2015)

### (1) Avaliação da ocorrência de transpasse

O transpasse de impurezas é um fenômeno caracterizado pelo aumento contínuo da turbidez da água filtrada, que ocorre devido ao aumento da velocidade intersticial associado ao arraste de impurezas que estavam anteriormente retidas (DI BERNARDO et al., 2011). O transpasse pode ocorrer no início ou no final da carreira de filtração. Tipicamente, observam-se picos de turbidez na etapa inicial da filtração, que podem ser explicados, segundo Di

Bernardo et al. (2011), pela existência de um remanescente de água de lavagem que pode estar tanto abaixo, no interior ou acima do topo do meio filtrante, e que influenciam diretamente no valor de turbidez da água filtrada.

A avaliação da ocorrência de transpasse nos filtros da ETA Jiqui ao final (ou eventualmente, no decorrer) da carreira de filtração foi realizada pela análise dos dados do monitoramento da qualidade do efluente dos filtros, que é realizado diariamente durante a carreira de filtração ocorrida previamente à lavagem do filtro estudado no dia de amostragem. O monitoramento é realizado pela CAERN, com medições de turbidez e outros parâmetros tanto água tratada, água filtrada e água bruta. Usualmente, na ETA é feita a coleta de amostras a cada 2 horas de água tratada após o processo de desinfecção, conforme exigido pela Portaria MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), entretanto visando analisar a água filtrada pela unidade filtrante 5-6, foram coletadas diariamente 4 amostras de água filtrada na saída do filtro, às 8h, 10h, 14h e 16h.

### (2) Avaliação da eficiência da lavagem dos filtros

A avaliação da eficiência de lavagem dos filtros da ETA foi realizada por meio do monitoramento da turbidez da água de lavagem de um filtro ao longo da operação de lavagem do mesmo (que, na ETA Jiqui, dura cerca de 9 min), por meio de coletas de amostras na saída das calhas de coleta da água de lavagem, em intervalos regulares (1 coleta a cada 30s nos primeiros 3 minutos da lavagem, e a cada 1 minuto no final da lavagem – 3 a 9 minutos), totalizando 12 amostras.

A coleta das amostras foi feita por um acesso entre as duas células filtrantes, onde jorra água dos vertedouros de ambas. Utilizou-se esse acesso pois ele permite a mistura da água proveniente de ambas as células, garantindo uma amostra representativa da média das duas unidades filtrantes.

### (3) Avaliação da expansão do meio filtrante

Para avaliar a expansão do meio filtrante, foi realizado um ensaio in loco com a utilização de um equipamento, que consiste em uma haste, à qual são fixados recipientes coletores em diferentes alturas (previamente marcadas), para coleta de amostras do meio filtrante (ver Figura 4), esse equipamento foi apresentado por Di Bernardo et al. (2011). O equipamento utilizado é graduado em uma escala de 5 cm, isto é, são aferidos dados em intervalos deste valor. Ele é inserido no filtro, com a haste posicionada verticalmente na parte superior do filtro, de modo que sua extremidade inferior toque o topo do meio filtrante. Nessa posição, a haste é então fixada e inicia-se a lavagem do filtro. Durante a lavagem, com a expansão do material filtrante, ele se deposita nos coletores da haste até o nível em que haja expansão.



**Figura 4: Equipamento para avaliar a expansão do meio filtrante.** Fonte: Di Bernardo et al. (2017)

Com a finalização da lavagem, observam-se visualmente os recipientes que contêm o material do meio filtrante (areia), determina-se então até que altura houve expansão. A expansão esperada durante a lavagem de um filtro

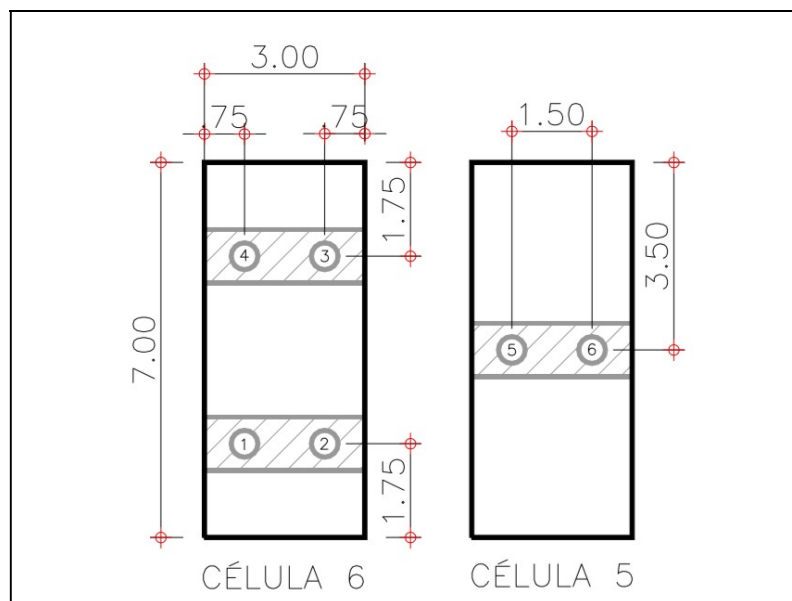
rápido é da ordem de 20 a 30% da altura do meio filtrante (FERREIRA FILHO, 2017). Devido à facilidade do ensaio, ele foi realizado nas unidades filtrantes 1-2, 5-6 e 7-8.

#### (4) Avaliação da granulometria do meio filtrante e da presença de bolas de lodo

O estudo de granulometria do meio filtrante é realizado a partir da coleta do material filtrante com o auxílio de um trado de escavação, com o qual são retiradas porções do material. As prospecções devem ser feitas ao longo da profundidade do meio filtrante (2 a 4 pontos distintos), visando retirar uma quantidade, preferencialmente, de 5 kg de material granular. (DI BERNARDO et al., 2017)

O material de amostragem foi levado ao Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, onde foi lavado e seco em estufa, conforme preconizado na norma NBR 7181: Solo - Análise Granulométrica (ABNT, 2016a). A areia coletada foi seca na estufa do laboratório, por cerca de 24 h, à 110 °C, como sugere Di Bernardo et al. (2011), em seguida, cada amostra foi devidamente misturada e quarteadada. Foi, então, ensaiada por meio de peneiramento seguido de pesagem, para obtenção da curva granulométrica do meio filtrante (NBR 7181).

As amostras foram coletadas em seis pontos, igualmente distanciados das paredes do filtro, sendo dois localizados na região superior e outros dois na região inferior da célula filtrante 6, e os últimos aproximadamente no meio da célula filtrante 5. O esquema da Figura 5 mostra os pontos de amostragem dentro das dimensões de cada célula filtrante. A coleta foi feita com um trado helicoidal.



**Figura 5: Localização dos pontos de amostragem.**

O procedimento consistiu na demarcação dos 3 pontos de estudo, após seco o filtro, e, em seguida, a prospecção do meio filtrante (ver Figura 6). O processo é feito em etapas, retirando o material pouco a pouco e colocado em um saco devidamente identificado.



**Figura 6: Amostragem de areia do meio filtrante.**

Segundo o projeto, o meio filtrante dos filtros 5 e 6 apresenta uma espessura de cerca de 1,10 metros, entretanto devido ao tamanho do trado não se pode coletar material até o fundo dele, que seria o ideal, dada a estratificação do meio filtrante. Eventualmente, com a cessão do furo feito em cada ponto, interrompia-se a amostragem naquele ponto, e registrava-se a profundidade alcançada. A última substituição de material do meio filtrante foi realizada em 2020.

O procedimento de ensaio, segundo a NBR 7181 (ABNT, 2016a), consistiu na separação manualmente de uma parcela cerca de 1,5 kg de cada amostra, uma vez que as peneiras têm um limite de capacidade e grandes volumes de material poderiam acarretar na obstrução da malha da peneira. As peneiras utilizadas no ensaio foram as disponíveis no laboratório, cujas aberturas são de: 4,8mm, 2,00mm, 1,20mm e 0,60mm. Após as duas primeiras peneiras, outra parcela é separada, dessa vez de cerca de 120 g do material passante antes de seguir para as duas últimas peneiras, pelo mesmo motivo supracitado. Foi utilizado um agitador para peneiramento mecânico (ver Figura 7), no qual as amostras eram peneiradas por cerca de 15 a 20 minutos, e, em seguida, com o final do peneiramento sendo feito de forma manual, para certificar que toda amostra havia sido bem peneirada. Finalmente, o material retido em cada peneira era pesado em uma balança e registrado.



**Figura 7: Agitador mecânico.**

Além disso, paralela à execução do ensaio de granulometria, foi verificada a ocorrência de bolas de lodo em outras amostras coletadas com um cilindro de cravação. Segundo Di Bernardo et al. (2017), em alguns casos, já se pode identificar as bolas de lodo visivelmente, a depender do tamanho das mesas.

Como o trado utilizado na retirada de amostras de areia não permitiu a aferição do volume da amostra, esse que é fundamental para o ensaio de bolas de lodo, foi utilizado o cilindro de cravação como alternativa.

O processo de amostragem com o cilindro consiste na inserção dele na areia a ser coletada, depois se cava ao entorno do cilindro e coloca-se um anteparo na face inferior para retirá-lo. Após o arrasamento com espátula da outra face, a amostra possui volume igual ao volume do cilindro, como indica a NBR 9813: Solo – Determinação de Massa Específica Aparente in situ, com Emprego de Cilindro de Cravação (ABNT, 2016b).

Segundo Di Bernardo et al. (2011), o material de cada amostra é disposto em uma peneira de 2,0 mm, para o caso de areia, e submergida em água. A seguir, por meio de movimentos suaves, as partículas do material granular são desprendidas, restando apenas as bolas de lodo propriamente ditas. Após isso, as bolas de lodo são colocadas em uma proveta, processo no qual pela variação de volume, permite identificar o volume de bolas de lodo. A razão entre o volume de bolas de lodo e o volume inicial da amostra coletada determina a condição do meio filtrante (DI BERNARDO et al., 2011).

##### **(5) Batimetria do topo do meio filtrante**

Associado aos ensaios de amostragem do meio filtrante, com o esvaziamento do filtro, foi executada também a batimetria do topo do meio filtrante. O procedimento consistiu na medição da profundidade do topo do meio filtrante em relação a um referencial fixo (no caso, o topo da calha vertedora) para diferentes regiões do filtro. A variação dessa dimensão ao longo do plano do meio filtrante indica distribuição irregular da água de lavagem, enquanto a ocorrência de alturas do meio filtrante inferiores à prevista em projeto indica a perda de material filtrante.

Di Bernardo et al. (2011) defende que diferenças entre a espessura do meio filtrante superiores a 5 cm já indicam perda de material granular no meio filtrante, o que implica na necessidade de regularização dele. Quanto maior essa



diferença, menos uniforme é a distribuição de água durante a lavagem, o que pode ocasionar remoção do material filtrante em algumas regiões do filtro e acúmulo do mesmo em outras, como aponta o mesmo autor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

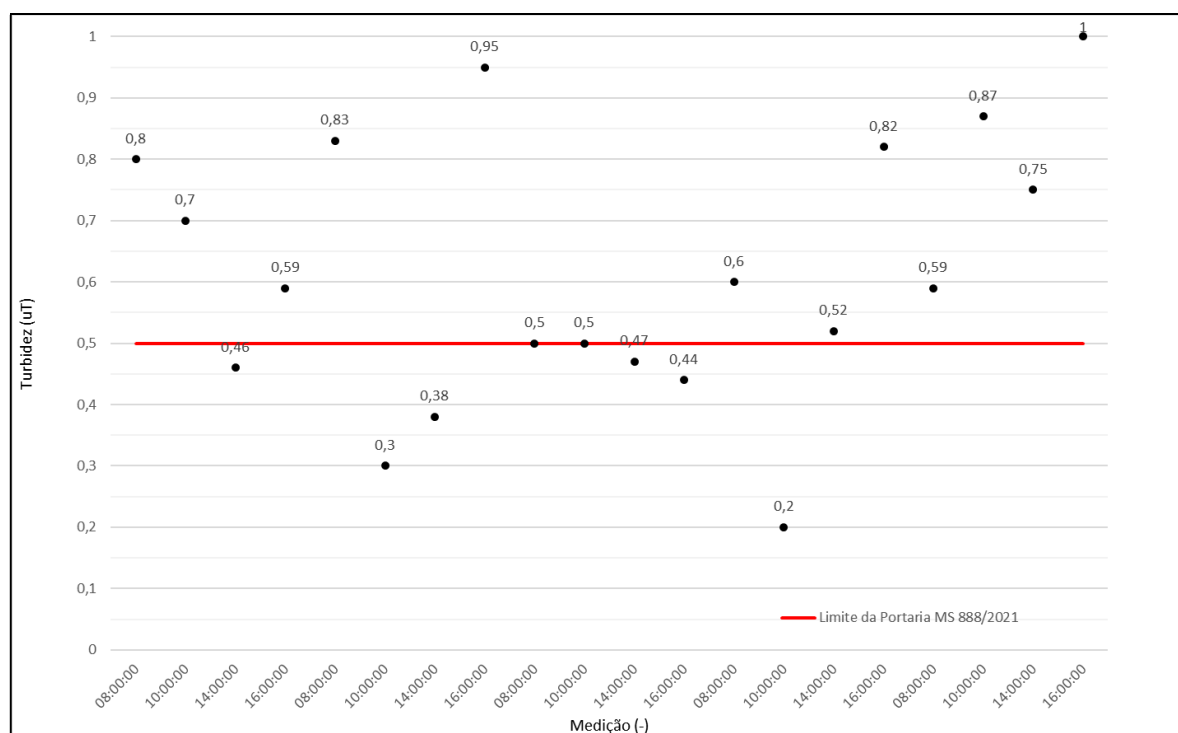
A intervenção nos filtros para a realização dos ensaios foi feita no dia 19/05, às 14 horas. Toda a ETA operava normalmente. Precedente a essa data, houve pequenas precipitações, entretanto no dia anterior e no dia de amostragem não houve chuva. Não se considerou o período como chuvoso. Para essa semana, a concentração de PAC empregada na coagulação foi de 12 mg/L, a vazão de captação de água bruta registrada foi, em média, 1556,12 m<sup>3</sup>/dia, o que levou à uma taxa de filtração média de 223,73 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia, considerando a área total somada das 4 unidades filtrantes de 168 m<sup>2</sup>.

A água bruta coletada do manancial apresentava as seguintes características no dia de amostragem (Ver Tabela 2):

**Tabela 2: Características da água bruta no dia 19/05.**

PARÂMETRO	02:00	08:00	14:00	20:00	MÉDIA
Cor Aparente	36,1	24,6	24,6	25,8	27,8
pH	6,57	6,47	7,01	6,40	6,61
Turbidez (UNT)	1,17	1,20	1,30	1,51	1,30

A CAERN forneceu os dados da medição de turbidez da água filtrada da unidade 5-6 referentes a semana anterior a qual foi realizada a intervenção (8 a 12/05), totalizando 20 (Ver Figura 8). Ela também informou que a turbidez da água bruta foi em média 1,25 UNT durante essa semana.



**Figura 8: Turbidez da água filtrada durante a semana que antecedeu a avaliação dos filtros 5-6.**

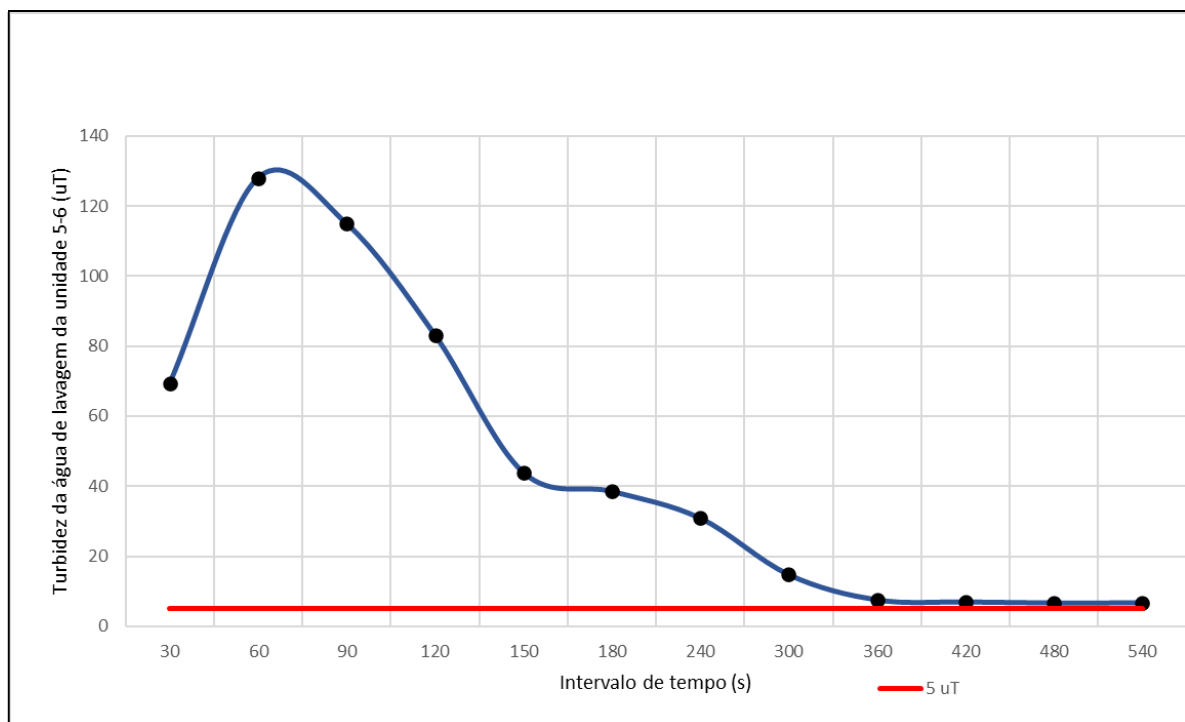
Bem como, foram fornecidos aqueles referentes a carreira filtração do dia anterior ao dia de realização aos ensaios, 18/05. A carreira começou cerca das 12 horas desse dia, indo até às 14 horas do dia 19/05 quando foi feita a lavagem e secagem. Dessa forma, foram obtidos os valores para às 14 horas e 16 horas do dia 18/05 e para às 8 horas e 10 horas do dia 19/05. Esses valores estão presentes na Tabela 3, a seguir:

**Tabela 3: Turbidez da água filtrada durante a semana que antecedeu a avaliação dos filtros 5-6.**

MEDIÇÃO	TURBIDEZ (UNT)
18/05 14:00	0,74
18/05 16:00	0,68
19/05 08:00	0,5
19/05 10:00	0,6
MÉDIA	0,63

Durante a semana estudada, a unidade filtrante 5-6 monitorado na ETA Jiqui não atendeu sistematicamente ao VMP da portaria MS 888/2021, visto que apresentou, na maioria das medições, turbidez efluente superior ou igual ao limite 0,5 UNT, ao longo das carreiras de filtração. Para aquela do dia 18/05 ao 19/05, o valor de turbidez permaneceu sempre superior ou igual ao VMP, ao longo de toda a duração da carreira. O início da carreira é marcado por um pico de turbidez, atingindo o valor de 0,74, o que é esperado após a lavagem dos filtros, e apesar da turbidez decrescer inicialmente, o sistema falha em atingir valores inferiores a 0,5 UNT. A tendência crescente ao final indica também que está ocorrendo transpasse ao final das carreiras de filtração.

A Figura 9 apresenta os valores de turbidez de cada amostra de água obtida durante a lavagem, bem como o intervalo em que cada amostra foi coletada.



**Figura 9: Turbidez da água de lavagem da unidade filtrante 5-6.**

O gráfico mostra um pico de turbidez por volta do primeiro minuto da lavagem, aproximadamente 128 UNT. Esse valor, em comparação com dados de Di Bernardo et al. (2011), é considerado baixo, indicando uma baixa retenção de impurezas no meio filtrante, sendo assim adequado para uma carreira de filtração de 24 horas, como apontam os autores. Próximo ao final do tempo de lavagem, a água de lavagem apresentou valores de turbidez acima de 5 UNT, um valor geralmente indicado como o máximo aceitável ao final da operação de lavagem (DI BERNARDO et al., 2017). Para obter menor turbidez ao final da lavagem, seria desejável prolongar o tempo de lavagem. Contudo, tal solução não é possível na ETA, devido à limitação de volume do reservatório de água de lavagem, que usualmente não tem conseguido atender nem aos 9 minutos previstos, como foi o caso dessa lavagem. Outra medida que poderia

ser adotada, contudo, é a reinstalação do sistema de lavagem complementar com ar, que havia originalmente na ETA.

A Tabela 4 apresenta os valores de expansão medidos para cada unidade filtrante.

**Tabela 4: Expansão do meio filtrante das unidades.**

EXPANSÃO (cm)	
FILTRO	MEDIÇÃO
1-2	30
5-6	25
7-8	30
MÉDIA	30

O valor máximo encontrado foi de 30 cm, nos filtros 1-2 e 7-8, que resulta em uma expansão de 27%. Não houve discrepância identificada entre os valores medidos em cada célula da unidade filtrante, por isso o mesmo valor de expansão foi considerado para cada uma como toda.

O meio filtrante tem uma camada com espessura igual a 1,10 metros (CAERN, 2012). Sendo assim, considerando que a expansão mínima deva ser de 30% (FERREIRA FILHO, 2017), para as unidades estudadas ela deve 33 cm, a expansão parece ser suficiente para todos os casos.

Baixos valores de expansão indicam redução na eficiência de lavagem, levando ao acúmulo de impurezas nos vazios porosos do meio filtrante bem como potencializando a ocorrência das bolas de lodo no interior dele, enquanto uma expansão muito alta pode acarretar a perda de material do filtro nas calhas pelo arraste. Como se identificou pequenas expansões, o que corrobora com baixas velocidades ascensionais, a perda de material não deve ser um problema tão presente no sistema (e não foi verificada), em contrapartida, a ocorrência de bolas de lodo foi verificada visualmente, mas somente acima do meio filtrante.

Em relação à granulometria do material coletado, a Tabela 5 apresenta o resultado da caracterização granulométrica do meio filtrante para as 3 amostras coletadas na unidade filtrante 5-6. Ressalta-se que cada amostra é composta pelo material coletado nos dois pontos de cada região de amostragem, previamente ilustrada na Figura 5.

**Tabela 5: Caracterização granulométrica do meio filtrante da unidade 5-6.**

AMOSTRA 01: C6 REGIÃO INFERIOR		
ABERTURA DA PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA (g)	PORCENTAGEM QUE PASSA (%)
4,80	0,00	0,00
2,00	286,50	81,54
1,20	87,00	24,70
0,60	37,80	0,01
0,42	0,00	0,00
AMOSTRA 02: C6 REGIÃO SUPERIOR		
ABERTURA DA PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA (g)	PORCENTAGEM QUE PASSA (%)
4,80	0,00	0,00
2,00	104,10	93,13
1,20	70,90	39,58
0,60	51,80	0,46
0,42	0,00	0,00
AMOSTRA 03 : C5		
ABERTURA DA PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA (g)	PORCENTAGEM QUE PASSA (%)
4,80	0,00	0,00
2,00	152,70	89,97
1,20	94,71	24,02
0,60	33,74	0,53
0,42	0,30	0,32



A partir desses dados, plotou-se as curvas granulométricas para cada amostra (ver Figura 10).

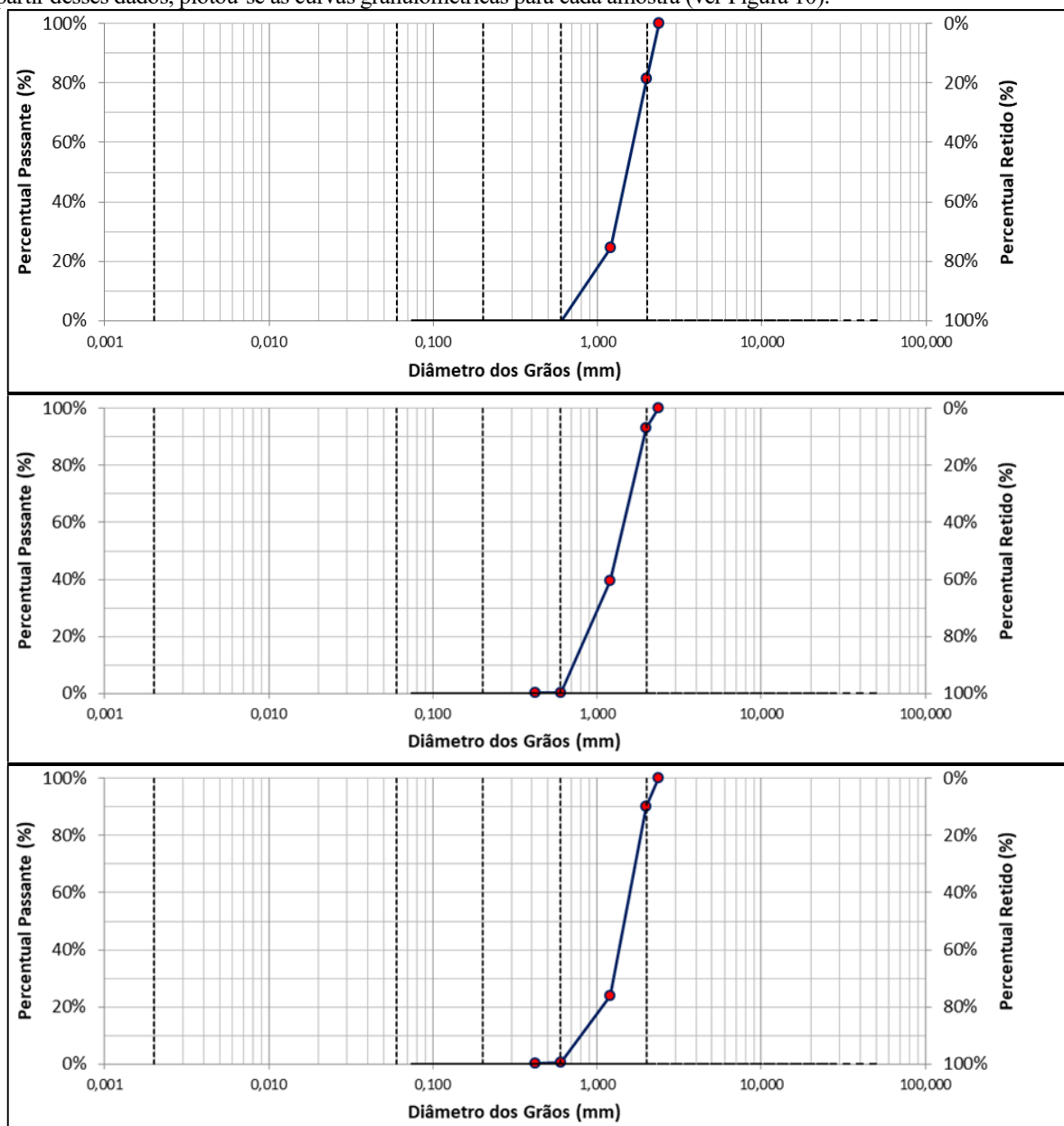


Figura 10: Curvas Granulométricas (a) Amostra 01 ; (b) Amostra 02 ; (c) Amostra 03.

Com base na curva granulométrica, obtiveram-se os dados de diâmetro de grão e coeficientes, dispostos na Tabela 6, a seguir:

**Tabela 6: Características do material filtrante da unidade 5-6.**

PARÂMETRO	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
d10 (mm)	0,701	0,661	0,701
d30 (mm)	1,275	0,789	1,273
d60 (mm)	1,697	1,505	1,636
Coefficiente de Uniformidade	2,42	2,277	2,335
Coefficiente de Curvatura	1,365	0,625	1,412



Na amostra 03 se conseguiu atingir a maior profundidade de prospecção, 72 cm, em comparação com as amostras 1 e 2, 60 cm e 55 cm, respectivamente. Dada a pequena diferença de profundidade, não houve amostra mais significativa que outra, o que é confirmado pela similaridade entre as curvas granulométrica de cada uma. Entretanto destaca-se que devido à amostragem ter se restringido a metade superior do meio filtrante e à estratificação do meio, a tendência é que a metade inferior seja ainda mais grossa, esse fato implica em um coeficiente de uniformidade ainda maior. Segundo Ferreira Filho (2017), usualmente para filtros rápidos por gravidade o material deve apresentar um coeficiente de uniformidade inferior a 1,6, o que não se verifica nesse caso. O diâmetro efetivo do material,  $d_{10}$ , também apresentou valor superior, em média 0,69 mm, ao que se encontra normalmente nesse tipo de filtro, que seria 0,55 mm (FERREIRA FILHO, 2017)

A Figura 11 apresenta os resultados do ensaio de granulometria realizado no material que foi empregado nos filtros 5-6, durante a última substituição.

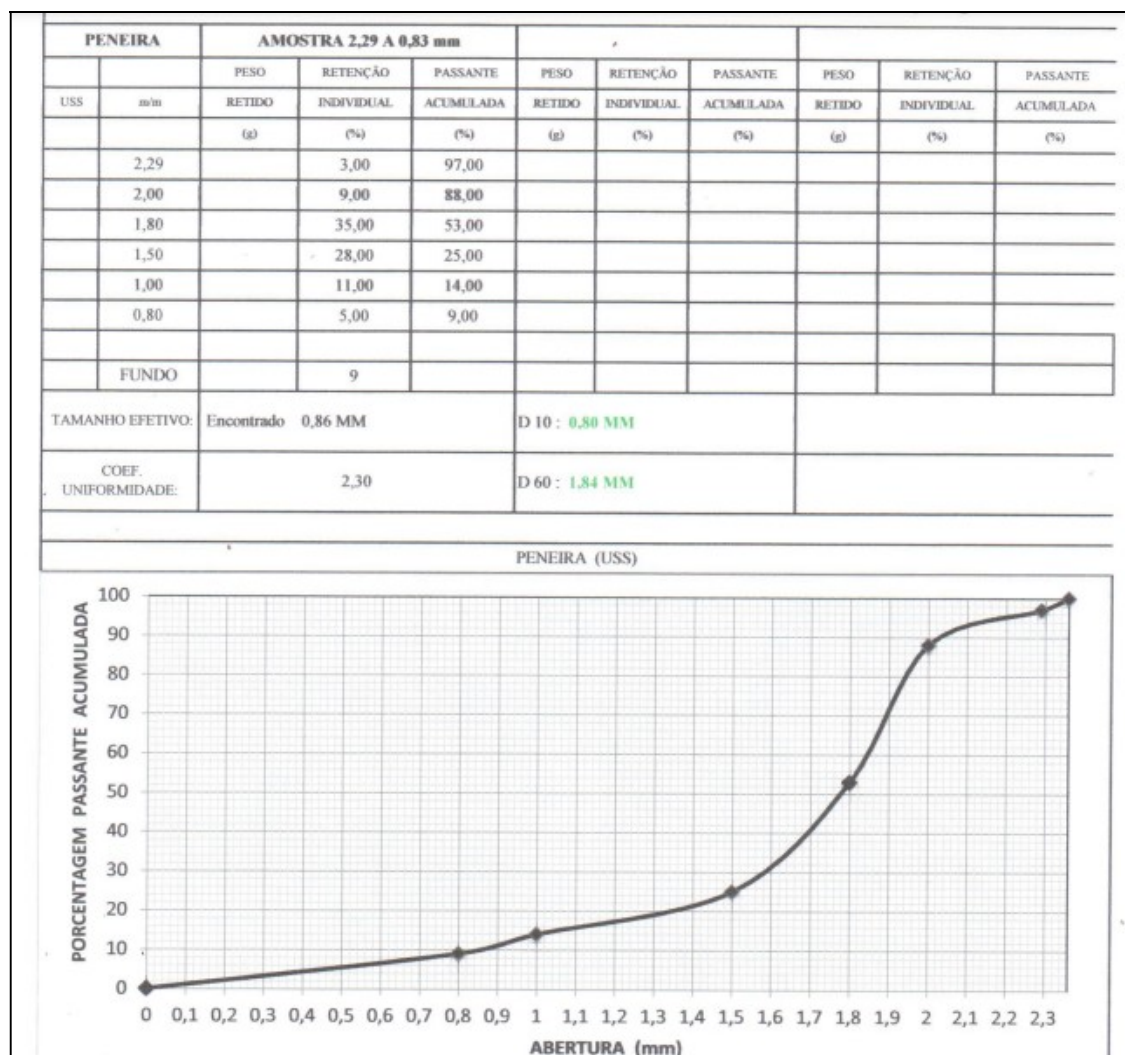


Figura 11: Ensaio de granulometria realizado pelo fornecedor do material filtrante atualmente empregado na ETA Jiqui. Fonte: ACQUATRAT (2020)

O material fornecido possui um coeficiente de uniformidade de 2,30 e diâmetro efetivo de 0,80 mm, dessa forma, já foi empregado um material estratificado que não apresenta as características mais adequadas para o sistema de filtração empregado na ETA, o que acarreta problemas como a perda de carga ser maior na parte superior do filtro (FERREIRA FILHO, 2017). Embora não apresente as melhores características granulares, dada à estratificação e desuniformidade, não significa que o material do meio filtrante empregado está comprometendo o funcionamento do filtro, levando a requerer uma troca. Ao se comparar o ensaio realizado pelo fornecedor com o em laboratório nota-se que as características obtidas são bastante semelhantes, de modo que não houve uma grande alteração no material filtrante nos últimos 3 anos.

Imediatamente após o rebaixamento do nível de água para drenagem do filtro, foram verificadas bolas de lodo, em uma quantidade significativa, na superfície do meio filtrante (ver Figura 12), identificadas em ambos os filtros da unidade filtrante 5-6.



**Figura 12: Bolas de lodo na superfície do material filtrante da célula 5.**

Di Bernardo et al. (2011) indica a possibilidade de realizar a amostragem em uma região mais superficial do meio, com cerca de 20 centímetros de profundidade, donde a possibilidade de uso do cilindro de cravação. Entretanto, para ambos os filtros estudados, as bolas de lodo se restringiam unicamente à superfície.

Ainda assim, foram coletadas 3 amostras com o cilindro de cravação, nas regiões 1 a 3 da unidade filtrante, anteriormente descritas. Durante o processo de ensaio não foram identificadas bolas de lodo nas amostras, com exceção da última, retirada no filtro 6, onde foi identificada apenas um destes elementos durante o processo de peneiramento (ver Figura 13). Todavia, como o material é ínfimo não houve possibilidade de aferir o volume.



**Figura 13: Pequena bola de lodo identificada durante peneiramento.**

Sendo assim, considerando que a quantidade de bolas de lodo é pequena e que elas não são encontradas no interior do meio filtrante, não há prejuízos ao processo de filtração. Segundo Di Bernardo et al. (2011) a condição do meio filtrante é excelente, uma vez que o volume de bolas de lodo é inferior a 0,1%, não havendo necessidade de intervenções no meio filtrante, como troca de material.

A presença de bolas de lodo na superfície do meio filtrante é um indicativo de deficiência na lavagem. Especula-se que a água de lavagem tem velocidade suficiente para arrastar esses elementos do interior do filtro, onde eles se formam do acúmulo de impurezas, mas não é suficiente para arrastar esses elementos para fora do filtro pelas calhas, donde a necessidade de se realizar uma limpeza periódica dessas bolas evitando o acúmulo em maior quantidade, que poderá levar a maiores perdas de carga na superfície. Outro detalhe que pode influenciar no aparecimento dessas bolas apenas na superfície é a quantidade de ar desprendido durante a lavagem, que não é previsto, mas que fora verificado in loco.

Em relação à batimetria, foram realizadas 6 medições, uma em cada ponto previamente indicados na Figura 9. Os valores obtidos estão presentes na Tabela 7, a seguir:

**Tabela 7: Batimetria do meio filtrante da unidade 5-6.**

BATIMETRIA (m)	
C6 - INFERIOR	
Ponto 1	1,855
Ponto 2	1,870
C6 – SUPERIOR	
Ponto 3	1,885
Ponto 4	1,860
C5	
Ponto 5	1,820
Ponto 6	1,820

Verifica-se que a diferença entre os valores mensurados para diferentes regiões de uma mesma célula, em média 3 cm, não serve de indicativo para a perda de material filtrante ou distribuição irregular a ponto de prejudicar a filtração, pois é inferior aos 5 cm indicados por Di Bernardo et al. (2011). Dessa forma, acredita-se que a espessura do meio filtrante está sendo mantida ao longo dele, com poucas variações. Destarte, essas pequenas variações podem ser produto da própria lavagem e expansão do meio filtrante, bem como do ar imprevisto que entra no filtro e é liberado durante a lavagem. Outro detalhe a ser observado é que a célula C6 está apresentando certa inclinação do lado esquerdo em direção ao lado direito, dado os valores de profundidade serem maiores neste último, que corrobora com a hipótese de acúmulo de material (areia) nos fundos falsos de algumas unidades filtrantes (que foi levantada pelos operadores da ETA). Esses problemas são detalhados a seguir.

No dia da realização da amostragem foram identificados in loco outros problemas que não estavam previstos no escopo do projeto, mas que possuem influência na qualidade da filtração. Durante a lavagem, notou-se uma presença exacerbada de ar no filtro (Ver Figura 14), o que não deveria ocorrer visto que a lavagem é feita apenas com água. Essa presença, em grande quantidade, de ar na tubulação diminui a eficiência do filtro, bem como pode levar ao arraste de material, e sua causa provável é um vórtice que se forma dentro do reservatório de água de lavagem. Essa presença de ar muda o comportamento hidráulico do filtro.

**Figura 14: Presença de ar durante a lavagem.**





## CONCLUSÕES

A presente pesquisa realizou a caracterização do sistema de filtração da ETA Jiqui, através de ensaios realizados tanto no meio filtrante como na água filtrada e de lavagem. A partir das informações coletadas para a unidade filtrante 5-6 diagnosticou-se o estado atual de operação do sistema de filtração, visto que as unidades são praticamente iguais, buscando determinar quais problemas culminam no não atendimento da Portaria MS 888/2021.

A turbidez da água filtrada superou o limite estabelecido pela Portaria MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021) de 0,5 UNT, em alguns momentos das carreiras de filtração, o que implica na ocorrência de transpasse de impurezas no filtro.

Acerca da lavagem, verificou-se que para aquela realizada exclusivamente com água o tempo de lavagem aplicado não seria suficiente, necessitando de um maior tempo que garanta que a água de lavagem apresente turbidez inferior a 5 UNT ao final da lavagem. Entretanto sabendo-se que não possibilidade de aumentar o tempo facilmente, devido às limitações do reservatório, a solução para esse problema está mais voltada ao retorno da lavagem com ar, como era feito segundo o projeto original da ETA. Além de que seriam mais onerosas intervenções estruturais quando comparada a adequação para inserção de ar na lavagem. Foi averiguado que a expansão do meio filtrante é suficiente durante a lavagem, o que corrobora que o problema maior seja relacionado a ineficiência da lavagem.

Em relação ao meio filtrante, confirmou-se que embora ele seja desuniforme e estratificado, não se apresentou variações significativas em suas características granulares, tampouco em sua geometria, ao longo do tempo, que exclui, por exemplo, a hipótese de perda de material e a necessidade de substituição dele. Como não foram identificadas bolas de lodo no interior do meio filtrante, mas apenas superficialmente, acredita-se que elas não têm prejudicado a filtração. No entanto, pela presença delas e a quantidade identificada, sugere-se a retirada periódica desses elementos.

Os resultados obtidos mostram a necessidade de adequação da operação da ETA Jiqui no que tange ao sistema de filtração, que apresenta dificuldade para atingir os valores preconizados na Portaria MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), às vezes mesmo quando a água bruta apresenta baixa turbidez, e mostram a necessidade de corrigir principalmente o processo de lavagem dos filtros, com a reativação do sistema de lavagem auxiliar com ar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACQUATRAT DO NORDESTE LTDA. Ensaio Granulométrico. Natal, RN - 2020.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. numeração progressiva. Rio de Janeiro, RJ - 2016.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9813: Solo – Determinação de massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação. numeração progressiva. Rio de Janeiro, RJ - 2016.
4. BRASIL. Lei n.º 10.257, de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF.
5. BRASIL. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, DF.
6. BRASIL. Lei n.º 14.026, de 15 de julho de 2020. Marco Nacional do Saneamento Básico. Brasília, DF.
7. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional: Secretária Nacional de Saneamento. Plano Nacional de Saneamento Básico. Brasília, DF - 2019.
8. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 mai 2021. Seção 1, p.127.
9. BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, [...]. Brasília, DF.
10. COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO RIO GRANDE DO NORTE. CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA – ETA JIQUI. Natal, RN - 2023.



11. COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO RIO GRANDE DO NORTE. Levantamento Arquitetônico ETA Jiqui Natal – RN. Natal, RN - 2012. Projeto Final. Desenhista: Herika Valeska Oliveira Dantas.
12. DI BERNARDO, L. ; DANTAS, A. D. ; VOLTAN, P. E. N. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: LDiBe, 2011.
13. DI BERNARDO, L. ; DANTAS, A. D. ; VOLTAN, P. E. N. Diagnóstico e proposição de melhorias na ETA do SAEMA de Araras. 2017.
14. DUARTE, M. A. C. Utilização dos índices de estado trófico (IET) e qualidade da água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das lagoas do Bonfim, Extremoz e Jiqui - RN. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.
15. FERREIRA FILHO, S. S. Tratamento de Água: Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
16. LUCENA, L. R. F. ; MEDEIROS, J. D. F. ; SANTOS, N. C. F. A disponibilidade hídrica das lagoas Jiqui e Pium e o caráter local efluente em relação ao Aquífero Barreiras – Litoral Sul de Natal – RN. Revista Águas Subterrâneas, 2008. 22 v. p. 59-72.
17. MONDARDO, R. I. Influência da pré-oxidação na tratabilidade das águas via filtração direta descendente em manancial com elevadas concentrações de microalgas e cianobactérias. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
18. PEREIRA, I. L. S. ; ARAUJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C.; FELIX, D. P. Caracterização da água de lavagem dos filtros de uma estação de tratamento de água com filtração direta. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.
19. SILVA, C. S. P.; ARRAES, K. A.; BARBOSA, A. H. S.; MOREIRA, M. M. Aplicação de geotecnologias para mapeamento do uso e ocupação do solo na Lagoa do Jiqui e seu entorno – Sub-bacia hidrográfica do Rio Pitumbu/RN. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu, 2019.
20. SOUSA FILHO, J. F. Caracterização e avaliação do macro sistema urbano de distribuição de água em Natal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.