



Centro Universitário de Brasília – UNICEUB  
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS  
Curso de Engenharia Civil

**JOSÉ RICARDO PEREIRA RAMOS**

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE DIÓXIDO DE CLORO COMO PRÉ-  
OXIDANTE NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA RIO DESCOBERTO –  
CEILÂNDIA – DF**

Brasília – DF

2018

**JOSÉ RICARDO PEREIRA RAMOS**

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE DIÓXIDO DE CLORO COMO PRÉ-  
OXIDANTE NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA RIO DESCOBERTO –  
CEILÂNDIA – DF**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Brasília - Uniceub, como um dos requisitos para obtenção do título de graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Eng<sup>o</sup>. D. Sc. Rogério Pinheiro Magalhães Carvalho.

Brasília - DF

2018

**JOSÉ RICARDO PEREIRA RAMOS**

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE DIÓXIDO DE CLORO COMO PRÉ-  
OXIDANTE NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA RIO DESCOBERTO –  
CEILÂNDIA – DF**

Monografia apresentada ao Centro  
Universitário de Brasília (Uniceub), como  
requisito para obtenção do título de  
graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Eng<sup>o</sup>. D. Sc. Rogério Pinheiro  
Magalhães Carvalho.

Brasília-DF, 27 de novembro de 2018.

Banca Examinadora

---

Eng<sup>o</sup>. D. Sc. Rogério Pinheiro Magalhães Carvalho

Orientador

---

Eng<sup>o</sup>. D. Sc. Rideci de Jesus da Costa Farias

Examinador interno

---

Eng<sup>a</sup>. M. Sc. Erika Regina Costa Castro

Examinadora externa

Dedico essa monografia, primeiramente, a Deus, por me conceder o dom da vida, me guiar e me proteger todos os dias.

Ao meu pai Erotildes, que faleceu no primeiro semestre de 2018, mas que foi um grande homem, com retidez e sabedoria, apesar do pouco estudo, sempre me incentivou no desenvolvimento pessoal, como pessoa e como profissional.

Minha querida mãe Júlia, na sua simplicidade, inteligência e carinho, com apoio sincero nos momentos difíceis.

À minha esposa Helena e aos meus filhos Pedro Henrique e Ana Júlia, que estiveram ao meu lado nessa longa jornada, principalmente, quando a minha saúde não se encontrava nas melhores condições.

## **AGRADECIMENTOS**

Obrigado, meu Deus, por abençoar o meu caminho durante esse trabalho. A fé que tenho em ti alimentou meu foco, minha força e minha disciplina.

Gostaria de agradecer minha família. Especialmente, meu pai Erotildes (in memoriam) e minha mãe Júlia, que juntos enfrentaram tantas dificuldades para que eu pudesse estudar. As minhas irmãs, Maria Áurea e Ana Lúcia, obrigada pelo apoio e torcida.

Agradeço a minha esposa Helena, que ao longo desses cinco anos e meio, me deu não só força, mas apoio para vencer essa etapa da vida acadêmica.

Agradecer aos meus filhos Ana Júlia e Pedro Henrique, a vocês eu deixo uma palavra gigante de agradecimento. Vocês foram meu apoio.

Meus agradecimentos aos amigos (Paulo Ricardo, Madson, Alisson, Maria, João, Wellerson,) e demais colegas de turmas, que sempre me ajudaram nessa caminhada. A todos os professores de Engenharia Civil do Uniceub Campus 2 de Taguatinga, em especial o Prof. D. Sc. Rideci Farias, Prof. M. Sc. Felipe Gama, Prof. (a) M. Sc. Erika Regina e Prof. (a) M. Sc. Gabriela de Athayde, que me apoiaram, incentivando e ensinando da melhor forma possível.

Agradeço a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb), principalmente aos funcionários da área operacional da ETA Rio Descoberto, nas pessoas de Wellington Ribeiro, Noêmia Célia e Zelândia Senna, pelo comprometimento, apoio e ajuda nas informações para o desenvolvimento deste trabalho acadêmico.

Agradeço a Sabará Químicos do Brasil S.A., nas pessoas Marco Antônio Sabará, Rafael Alves, Lucas Donato, Daniel D'Ângelo, Elias de Oliveira e Sergio Medeiros, por acreditarem na ideia inicial, disponibilizaram energia e tempo com expertise e inteligência, para o sucesso do projeto. Sem vocês, esse resultado não seria possível.

Por fim, uma gratidão incondicional ao meu Orientador Prof. D. Sc. Rogério Pinheiro Magalhães Carvalho, pela sua dedicação, paciência, compreensão e por ter confiado na sugestão apresentada.

*“Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si.”*

*Ayrton Senna*

## RESUMO

As captações superficiais para abastecimento público de água potável, particularmente os lagos artificiais, têm passado por um processo de deterioração pela interferência da ocupação humana inadequada. O excesso de concentração de matéria orgânica e elementos inorgânicos podem promover aumento no teor de nutrientes na água bruta, com o surgimento de florações de alta densidade de algas e de cianobactérias. Esses aspectos podem acarretar perda de eficiência da qualidade de água produzida nas estações, como gastos excessivos com produtos químicos na coagulação e consumo de água para lavagem de filtros, redução no número de horas de carreira de filtração e aumento de estrutura para o tratamento de disposição de lodo de ETA, como se verifica atualmente na Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto, principal unidade do Distrito Federal, responsável pelo abastecimento de cerca de 60% de sua população. Neste contexto, este Estudo de Caso tem por objetivo principal avaliar a aplicação de dióxido de cloro como pré-oxidante em escala real na estação; com foco no aumento da carreira de filtração; seu efeito na coagulação e floculação, redução das concentrações de fitoplâncton e cianobactérias, como monitoramento dos níveis de trihalometano total na água tratada. Após aplicação de dióxido de cloro, como pré-oxidante, com dosagem média de 0,3 mg/L na planta por 30 dias consecutivos, verificou-se os seguintes resultados operacionais: aumento médio da carreiras de filtração de 12 para 23 horas, limitado por taxas de filtração inferiores a 330 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia; baixa influência no pH de coagulação, com resultados de turbidez de água tratada na média de 0,23 uT, teor médio de trihalometano total de 0,008 mg/L e manutenção dos resultados históricos de remoção de fitoplâncton e cianobactérias num patamar médio de 95%.

**PALAVRAS - CHAVE:** Dióxido de cloro, Cianobactérias, Trihalometanos, Carreira de filtração.

## ABSTRACT

Surface abstractions for the public supply of potable water, particularly artificial lakes, have undergone a process of deterioration through the interference of inadequate human occupation. The excess concentration of organic matter and inorganic elements can promote increase in nutrient content in raw water, with the appearance of high density blooms of algae and cyanobacteria. These aspects may lead to a loss of efficiency in the quality of water produced at the stations, such as excessive expenses with chemicals products in the coagulation and consumption of water for filter washing, reduction in the number of filtration career hours and increase of the structure for the disposal treatment ETA sludge, as is currently the case at the Rio Descoberto Water Treatment Plant, the main unit of the Federal District, responsible for supplying about 60% of its population. In this context, this Case Study has as main objective to evaluate the application of chlorine dioxide as a pre-oxidant in real scale at the station; focusing on increasing the filtration career; its effect on coagulation and flocculation, reduction of concentrations of phytoplankton and cyanobacteria, as monitoring the levels of total trihalomethane in the treated water. After application of chlorine dioxide as a pre-oxidant, with a mean dosage of 0.3 mg / L in the plant for 30 consecutive days, the following operational results were observed: average increase of filtration runs from 15 to 23 hours, limited by filtration rates below 330 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup>.day; low influence on the pH of coagulation, with turbidities of treated water averaging 0.23 uT, mean total trihalomethane content of 0.008 mg / L and maintenance of the historical results of phytoplankton and cyanobacteria removal at a mean level of 95%.

**KEY WORDS:** Chlorine dioxide, Cyanobacteria, Trihalomethanes, Filtration career.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Turbidez da água .....	27
Figura 02 – Gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas.....	31
Figura 03 – Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano..	33
Figura 04 – Estação de tratamento de água de ciclo completo.....	34
Figura 05 – Estrutura química do dióxido de cloro.....	53
Figura 06 – Fluxograma básico para geradores de dióxido de cloro em estações de tratamento de água.....	54
Figura 07 – Desenho do gerador de dióxido de cloro disponibilizado pela Sabará..	57
Figura 08 – Vista área do barramento do Lago Descoberto.....	59
Figura 09 – Fluxograma das etapas de tratamento de água da ETA Rio Descoberto.. .....	60
Figura 10 – Pontos de monitoramento do Lago Descoberto e principais tributários..	64
Figura 11 – Evolução da biomassa fitoplanctônica (Ind/L) – Lago Descoberto .....	69
Figura 12 – Contagem de cianobactérias do Lago Descoberto (Cél/ mL) .....	69
Figura 13 – Parâmetros de controle via supervisório da ETA Rio Descoberto.....	73
Figura 14 – Instalações de dióxido de cloro na área da ETA Rio Descoberto.....	73
Figura 15 – Ensaio de jarros com uso de hipoclorito de sódio como pré-oxidante....	75
Figura 16 – Ensaio de jarros com uso de dióxido de cloro como pré-oxidante.....	75

Figura 17 – Taxa média x Comportamento do canal de água coagulada .....	76
Figura 18 – Taxa média x Carreira média dos filtros .....	77
Figura 19 – Taxa média x Turbidez da água bruta.....	78
Figura 20 – Aspecto visual da floculação nos filtros da ETA Rio Descoberto .....	78
Figura 21 – Taxa média x Turbidez da água tratada .....	79
Figura 22 – Taxa média x Remoção de fito e ciano .....	80

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Reação química entre o clorito de sódio e o ácido hipocloroso.....	53
Equação 2 – Reação química entre o clorito de sódio e o gás cloro.....	53
Equação 3 – Reação química entre o clorito de sódio e o ácido clorídrico.....	53
Equação 4 – Reação química entre o clorato de sódio, peróxido de hidrogênio e o ácido sulfúrico.....	53
Equação 5 – Reação química entre o clorato de sódio e o ácido clorídrico .....	53
Equação 6 – Reação eletroquímica de oxidação do clorito.....	54
Equação 7 – Reação química de decomposição do dióxido de cloro a clorito e a clorato em condições fortemente alcalinas.....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Municípios com serviço de abastecimento de água por rede de distribuição, segundo grandes regiões .....	24
Quadro 02 – Níveis tróficos de lagos em função do teor de clorofila-a .....	41
Quadro 03 – Características dos meios filtrantes utilizados no descendente .....	42
Quadro 04 – Limites dos parâmetros de qualidade de água bruta para o emprego da filtração direta descendente .....	46
Quadro 05 – Parâmetros de floculação na filtração direta descendente .....	48
Quadro 06 – Características principais dos meios filtrantes utilizados na filtração direta descendente .....	52
Quadro 07 – Principais gêneros de cianobactérias.....	67
Quadro 08 – Vazões de água bruta aduzida ( $m^3/s$ ) x Taxa de filtração ( $m^3/m^2.dia$ )..	72
Quadro 09 –Densidades de fitoplâncton e cianobactéria na água bruta e tratada....	79
Quadro 10 – Distribuição dos resultados de THM Total na água tratada.....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**Caesb** – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

**ETA** – Estação de Tratamento de Água

**PNSB** – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

**COT** – Carbono Orgânico Total

**HOT** – Halogenado Orgânico Total

**FDD** – Filtração Direta Descendente

**FDDCF** – Filtração Direta Descendente com Floculação

**FDDSF** – Filtração Direta Descendente sem Floculação

**uT** – Unidade de Turbidez

**uC** – Unidade de cor

**COD** – Carbono Orgânico Dissolvido

**G<sub>mr</sub>** – Gradiente de Mistura Rápida

**T<sub>mr</sub>** – Tempo de Mistura Rápida

**UV** – Radiação Ultravioleta

**SH** – Substâncias Húmicas

**AF** – Ácidos Fúlvicos

**AH** – Ácidos Húmicos

**THM** – Trihalometanos

**HAN** – Halocetonitrilas

**HK** – Halocetonas

**HP** – Halopicinas

**TCA** – Tricloroacetaldeido

**USEPA** – United States Environmental Protection Agency

**EUA** – Estados Unidos da América

**EPA** – Environmental Protection Agency

**CLP** – Controlador Lógico Programável

**PAC** – Cloreto de Polialumínio

**TAPQ** – Tanque de Aplicação de Produtos Químicos

**SRAL** – Reservatório de Acumulação de Água de Lavagem

**SEMARH-DF** – Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal

**IBRAM** – Instituto Brasília Ambiental

**IBAMA** – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

**PGO** – Superintendência de Gestão Operacional

**EAB** – Elevatória de Água Bruta

**PPA** – Superintendência de Operação e Produção de Água

**PPAS** – Gerência de Produção Sul

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>22</b>
2.1 Geral .....	22
2.2 Específico .....	22
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>23</b>
3.1 O Saneamento no Brasil .....	23
3.2 Caracterização das Águas .....	26
3.2.1 Caracterização Físicas e Organolépticas .....	26
3.2.1.1 Turbidez .....	26
3.2.1.2 Cor Verdadeira e Cor Aparente .....	27
3.2.1.3 Sabor e Odor .....	27
3.2.1.4 Temperatura.....	28
3.2.1.5 Condutividade Elétrica.....	28
3.2.2 Caracterização Químicas .....	28
3.2.2.1 pH.....	28
3.2.2.2 Alcalinidade.....	29
3.2.2.3 Compostos Orgânicos.....	29
3.2.3 Caracterização Biológicas .....	30

3.3 Tecnologias de Tratamento de Água .....	32
3.3.1 Tratamento de Água em Ciclo Completo .....	33
3.3.2 Tratamento de Água por Filtração Direta .....	34
3.3.3 Tratamento de Água por Floto-Filtração .....	35
3.4 Técnicas de Pré-Tratamento de Água.....	35
3.4.1 Pré-Tratamento com Decantação .....	35
3.4.2 Pré-Tratamento com Filtração Dinâmica .....	36
3.4.3 Pré-Tratamento com Filtração com Escoamento Vertical ou Horizontal .....	36
3.5 Sustentabilidade, Meio Ambiente e Tecnologias de Tratamento de Água .....	37
3.6 Etapas de Processo e Intervenientes na Operação da Tecnologia de Tratamento por Filtração Direta .....	38
3.6.1 Parâmetros que Influem na Tecnologia da Filtração Direta Descendente .....	39
3.6.1.1 Qualidade da Água Bruta .....	39
3.6.1.2 Matéria Orgânica Natural .....	39
3.6.1.3 Alcalinidade e pH .....	40
3.6.1.4 Algas .....	40
3.6.1.5 Coagulação e Produtos Químicos .....	45
3.6.1.6 Mistura Rápida .....	47
3.6.1.7 Floculação .....	47

3.6.1.8 Pré-Oxidação.....	48
3.6.1.9 Meio Filtrante .....	51
3.6.1.10 Taxa de Filtração e Carga Hidráulica Disponível .....	52
3.7 Propriedades do Dióxido de Cloro .....	52
3.7.1 Propriedades Físico-Químicas do Dióxido de Cloro .....	52
3.7.2 Vantagens de Desvantagens do Uso do Dióxido de Cloro no Tratamento de Água.....	55
3.7.3 Gerador de dióxido de cloro disponibilizado pela Sabará Químicos do Brasil S.A.....	57
<b>4. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>59</b>
4.1 Descrição do Sistema de Abastecimento de Água Rio Descoberto.....	59
4.1.1 Barragem do Rio Descoberto.....	59
4.1.2 Elevatória de Água Bruta Descoberto.....	60
4.1.3 Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto.....	60
4.2 Evolução da Densidade de Algas e Cianobactérias no Lago Descoberto .....	64
4.3 Diagnóstico da Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto .....	68
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>71</b>
<b>6. APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>83</b>
7.1 Sugestões de trabalhos futuros.....	83
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas no Brasil, as captações superficiais para abastecimento público, particularmente os lagos artificiais, têm passado por um processo de deterioração causada pela interferência da ocupação humana inadequada nas suas bacias hidrográficas, pelo lançamento de esgoto doméstico ou industrial clandestino, ou ainda pelo uso de fertilizantes em áreas agrícolas, com conseqüente risco à saúde pública.

O risco à saúde pública se deve pelo excesso da concentração de matéria orgânica e elementos inorgânicos capazes de promover o aumento no teor de nutrientes na água bruta de lagos artificiais oligotróficos, promovendo o surgimento de florações de alta densidade de macrófitas, algas e principalmente de cianobactérias, como é o caso do Lago Descoberto, principal unidade do Distrito Federal, responsável pelo abastecimento de cerca de 60% de sua população.

Em função das características físico-químicas e limnológicas desses mananciais superficiais, a intensa floração de algas e cianobactérias podem acarretar sérios problemas operacionais nas estações de tratamento de água, como perda de eficiência da qualidade da água produzida, às vezes tornando-a imprópria para o uso potável, ou ocasionando gastos excessivos com o consumo de água para lavagem dos filtros, redução no número de horas de carreira de filtração, utilização de pré-oxidantes e o incremento de produtos químicos na coagulação, bem como o aumento de estrutura para o tratamento e disposição de lodo de ETA.

A utilização de agentes oxidantes com potencial para reduzir a carga de fitoplâncton e cianobactérias é comum nas diversas unidades de tratamento de água no Brasil, quando os processos são o convencional ou filtração direta, principalmente no uso de cloro gasoso. Entretanto, diversas pesquisas relatam os perigos de seu uso pela formação de substâncias com sabor e odor desagradáveis e produção de diversos subprodutos da desinfecção, como os subprodutos orgânicos halogenados (trihalometanos, ácidos haloacéticos e etc.), compostos com limites definidos na Portaria de Consolidação nº 05, Anexo XX, do Ministério da Saúde, de 28 de setembro de 2017.

Assim, neste contexto, o presente estudo de caso, tem por objetivo principal avaliar a aplicação de dióxido de cloro como pré-oxidante em escala real na

Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto/DF, com foco no aumento da carreira de filtração, em função das diversas taxas de filtração utilizadas na unidade, no seu efeito na coagulação e floculação, na redução das concentrações de fitoplâncton e cianobactérias, como no monitoramento dos níveis de trialometano total e clorito na água tratada.

Considerando que o dióxido de cloro tem aumentado a sua participação nas estações de tratamento de água como oxidante no Brasil, torna-se imperativo o estudo e monitoramento de seus efeitos, principalmente aos seus aspectos positivos: elevado potencial oxidante, desinfetante, e reduzido potencial de formação de trialometanos; e os negativos: relativa instabilidade dos residuais de dióxido de cloro e formação do principal subproduto: o clorito. Desta forma, apesar de existir vasta literatura sobre a sua aplicação, ainda são escassas as informações geradas de bases reais da realidade brasileira. Assim, o presente trabalho tem também o objetivo de ajudar para contribuir no preenchimento dessa lacuna.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Geral**

Avaliar aplicação de dióxido de cloro como pré-oxidante na Estação de Tratamento de Água do Rio Descoberto/DF, Brasil.

### **2.2 Específico**

- Avaliar o aumento da carreira do sistema de filtração, para as diversas taxas utilizadas na Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto;
- Verificar os benefícios na coagulação e na floculação com aplicação do dióxido de cloro como pré-oxidante, particularmente num processo de filtração direta;
- Monitorar os residuais na água tratada de clorito e trihalometano total;
- Comparar os níveis de remoção de fitoplâncton e cianobactérias com ou sem aplicação de dióxido de cloro.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 O Saneamento no Brasil**

A água para consumo humano pode conter determinadas substâncias, elementos químicos e microrganismos que precisam ser eliminados ou reduzidos a concentrações que não sejam prejudiciais à saúde humana. O crescimento de centros urbanos e sua industrialização tem aumentado a contaminação dos recursos hídricos disponíveis para abastecimento público, tornando indispensável o tratamento da água. Ainda que os mananciais superficiais estejam mais expostos à poluição e à contaminação por agentes decorrentes de atividades antrópicas, também as águas subterrâneas podem receber influências desses processos. Esse cenário demanda das autoridades da área de saúde pública, o planejamento e o desenvolvimento de sistemas de tratamento e distribuição de águas adequados, conforme os requisitos da Portaria de Consolidação nº 05, Anexo XX, do Ministério da Saúde, de 28 de setembro de 2017.

As doenças de transmissão hídrica mais comum nos países em desenvolvimento, como é caso brasileiro, são a febre tifoide e paratifoide, disenterias bacilar e amebiana, cólera, esquistossomose, hepatite infecciosa, giardíase e criptosporidiose. Pode-se destacar as de origem hídrica, que incluem as cáries dentárias, fluorose, saturnismo e etc. Além desses males, os danos à saúde humana podem decorrer da presença de substâncias tóxicas na água, como as cianotoxinas de origem das cianobactérias.

No Brasil, estima-se que 60% das internações hospitalares estejam relacionadas às deficiências do saneamento básico que geram impacto negativo na qualidade e expectativa de vida das pessoas, havendo estudos que indicam que cerca de 90% dessas doenças se devem à ausência de água em quantidade e qualidade satisfatória. Em muitos municípios tem sido recorrente a distribuição de água que não atende ao padrão de potabilidade vigente em nosso País. Além de problemas operacionais, a escolha inadequada da tecnologia adotada no projeto da estação de tratamento de água acarreta sérios prejuízos à qualidade da água produzida (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, na última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, realizada em 2008, sobre

abastecimento de água, os dados informam aspectos relevantes da cobertura deste serviço no País. O Quadro 01 resume a evolução da cobertura do serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição nos municípios brasileiros. Entre a pesquisa efetuada em 1989 e a de 2008, observa-se um crescimento de 3,5% nessa cobertura que, em 2008, alcançou a marca de 99,4% dos municípios do País.

O maior avanço nesses 19 anos ocorreu na Região Norte, que aumentou de 86,9% dos municípios com o referido serviço para 98,4%, representando um acréscimo de quase 12 pontos percentuais. Ressalta-se que a Região Sudeste foi a única que apresentou a totalidade dos municípios que são abastecidos por rede geral de distribuição de água, em pelo menos um distrito ou parte dele, fato este já identificado na PNSB 2000.

**Quadro 01 – Municípios com serviço de abastecimento de água por rede de distribuição, segundo grandes regiões – 1998/2008**

Grandes Regiões	1989		2000		2008	
	Quantidade	Percentual (%)	Quantidade	Percentual (%)	Quantidade	Percentual (%)
Norte	259	95,9	422	94,0	442	98,4
Nordeste	1371	93,8	1722	96,4	1772	98,
Sudeste	1429	99,99	1868	100,0	1868	100,0
Sul	834	97,3	1142	98,5	1185	99,7
Centro Oeste	352	92,8	439	98,4	464	99,6
Brasil	4245	95,9	5391	97,9	5531	98,4

Fonte: IBGE (1989 a 2008)

Em grande parte dos municípios, há utilização de mais de uma fonte de captação de água bruta para suprir o sistema de abastecimento. A pesquisa do IBGE mostra que, em sua quase totalidade, as entidades prestadoras do serviço de abastecimento de água efetuaram a captação em poço profundo (47,5%), seguida

da captação superficial (42,1%). As captações projetadas e construídas para a tomada de águas superficiais destinadas ao sistema de abastecimento, mesmo que protegidas pelo ambiente natural, estão mais sujeitas a fatores que levam ao comprometimento de sua qualidade, como lançamento de esgoto sanitário, de despejos de resíduos industrial e doméstico, atividades mineradoras, resíduos de agrotóxicos, etc (IBGE, 2010).

Segundo a PNSB (2008), a maior parte dos municípios brasileiros (87,2%) distribuía a água totalmente tratada. No entanto, há que se registrar que em 6,2% dos mesmos a água era apenas parcialmente tratada e, em 6,6%, não tinha nenhum tratamento. Em 2000, os municípios onde não se realizava nenhum tipo de tratamento na água representavam 18,1% do País. Dentre os municípios que, em 2008, distribuía água sem qualquer tipo de tratamento, destacam-se aqueles situados na Região Norte (20,8% dos municípios). Nessa região, os Estados do Pará (40,0% dos municípios do estado) e Amazonas (38,7%) apresentaram as maiores proporções. Em seguida, figura a Região Nordeste, com 7,9% de seus municípios. Nessa região, é alta a proporção de municípios dos Estados do Piauí (24,3%) e Maranhão (21,8%) que não efetuaram nenhum tratamento na água distribuída por rede geral à população.

Observa-se, ainda, que dos 365 municípios do País que distribuía água por rede geral sem nenhum tipo de tratamento, 99,7% tinham população com até 50 mil habitantes e densidade demográfica menor que 80 habitantes por quilômetro quadrado. De acordo com a PNSB 2008, o maior volume de água tratada e distribuída por rede geral (75,1%) recebia tratamento não convencional, através de processos, tais como: clarificador de contato; estação de tratamento de água (ETA) compacta; filtração direta; dessalinização; etc.

O tratamento do tipo convencional era efetuado em 69,2% da água distribuída. Nesse processo, a água bruta passa por tratamento completo em uma ETA, dotado dos processos de floculação, decantação, filtração e desinfecção (cloração), podendo ocorrer também a correção do pH e a fluoretação. A simples desinfecção é aquela realizada quando a água bruta recebe apenas uma desinfecção (cloração e outros) antes de ser distribuída na rede, e ocorreu em 23,1% da água distribuída.

A falta de planejamento das cidades, o seu crescimento e ocupação desordenada da população, principalmente nas regiões de mananciais e margens de rios, lagos e mangues, associada com a falta de saneamento básico são as causas de poluição das águas do País. Estima-se que na natureza, 95% da água no planeta seja salgada e 5% seja água doce. Dessa água doce, a maior parte está sob forma de gelo, sendo que apenas 0,3% esteja disponível e aproveitável no mundo, com predominância estocável na forma subterrânea. No Brasil, encontram-se, desse total, 8%, sendo que aproximadamente 80% estão na Amazônia brasileira, onde estima-se que a população local não ultrapasse a 6%.

### **3.2 Características das Águas**

É imperativo o conhecimento profundo das características das águas de estudo, principalmente nas ETAs reais que sempre demandam problemas operacionais. Essas unidades possuem registros históricos que podem oferecer informações das variações da qualidade da água ao longo do período do ano, que ajudarão nos estudos de tratabilidade ou de melhoria dos processos. As principais características da água, de importância fundamental para sua caracterização, são as características físicas, organolépticas, químicas e biológicas.

#### **3.2.1 Características Físicas e Organolépticas**

As características físicas e organolépticas são determinantes para a definição da tecnologia de tratamento ou condicionantes de processo. São parâmetros de fácil determinação. Tem importância relativamente pequena do ponto de vista sanitário. Sendo as principais: turbidez, cor, temperatura, condutividade elétrica, sabor e odor.

##### **3.2.1.1 Turbidez**

A turbidez das águas é devida à presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, as quais podem apresentar ampla faixa de tamanhos (Figura 01). A turbidez pode ser causada principalmente por areia, argila e microrganismos em geral. É importante destacar que águas que apresentam mesma turbidez podem conter partículas de tamanhos diferentes e em quantidades diferentes, concorrendo para alterar as condições de coagulação, devendo-se tomar cuidados adicionais

quando se comparam águas de diferentes mananciais (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

**Figura 01 – Turbidez da água**



Fonte: <http://analiseagua.blogspot.com/2013/02/analise-de-turbidez.html> (25/06/2018).

### **3.2.1.2 Cor verdadeira e cor aparente**

Nas águas naturais, a cor é decorrente da presença de matéria orgânica originada da decomposição de plantas e animais, denominada de substância húmica. O motivo de remoção de cor se devia apenas por razão estética há algum tempo atrás, porém, atualmente, a sua remoção tornou-se muito importante, pois se descobriu que tais substâncias húmicas são precursoras de formação de trihalometanos e de outros compostos organo-halogenados, quando a desinfecção da água for realizada por aplicação de cloro livre.

A cor varia com o pH da água, sendo mais fácil de ser removida em pH mais baixo. A cor verdadeira é definida como aquela que não sofre interferência de partículas suspensas na água, sendo obtida após a centrifugação ou filtração da amostra. E a cor aparente é aquela medida sem a remoção de partículas suspensas da água (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

### **3.2.1.3 Sabor e odor**

Sabor e odor são características de difícil avaliação por serem de sensações subjetivas. Normalmente decorrem de matéria excretada por algumas espécies de algas e de substâncias dissolvidas, como gases, fenóis, clorofenóis e em alguns casos, do lançamento de despejos nos cursos de água. A remoção

dessas substâncias geralmente requer aeração, além da aplicação de um oxidante e de carvão ativado para adsorção dos compostos causadores de odor e sabor (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

#### **3.2.1.4 Temperatura**

A temperatura é o parâmetro que influencia nas reações de hidrólise do coagulante, na eficiência da desinfecção, na solubilidade dos gases, na sensação de sabor e odor, e em especial, no desempenho das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração.

#### **3.2.1.5 Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica está relacionada com a quantidade de sais dissolvidos na água, sendo principalmente proporcional à sua quantidade. A condutividade permite estimar a quantidade de sólidos totais dissolvidos presentes na água. Para valores elevados de sólidos totais dissolvidos, tem-se o aumento da solubilidade dos precipitados de alumínio e de ferro, o que pode influir na cinética da coagulação (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

### **3.2.2 Características Químicas**

As características químicas das águas são de grande importância sanitária, pois a presença de alguns elementos ou compostos químicos na água bruta pode inviabilizar a escolha de determinadas tecnologias de tratamento e exigir soluções de tratamento muito específicas. Dependendo da forma com que se encontra o metal, ele não poderá ser removido da estação. Exemplo: o cromo com valência seis é muito mais difícil de ser removido que o cromo com valência três. Também, a toxicidade é variável, como no caso de complexos orgânicos de mercúrio, que são cerca de cem vezes mais perigosos que o mercúrio mineral. Alguns compostos podem ser utilizados para avaliar o grau de poluição de uma fonte de água, como a concentração de cloretos, oxigênio, nitritos e nitratos (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

#### **3.2.2.1 pH**

Trata-se de um parâmetro importante nas etapas de tratamento d'água, principalmente, na coagulação, filtração, desinfecção e controle da corrosão. Águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas a certos metais, concreto e outros

materiais nos sistemas de abastecimento. Enquanto águas de valor elevado de pH, por exemplo, acima de 7,0, tendem a formar depósitos ou incrustar nas tubulações.

### 3.2.2.2 Alcalinidade

Parâmetro que pode ser entendido como a capacidade d'água neutralizar ácido ou como capacidade de neutralizar bases. A alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química, pois os principais coagulantes primários comumente utilizados são doadores de prótons em solução, como é o caso do sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Logo, se a alcalinidade de determinada água bruta for baixa, a coagulação poderá exigir a aplicação de alcalinizante para o ajuste do pH, mas se a alcalinidade for elevada, é provável que a coagulação com sulfato de alumínio apresente problemas nos resultados. A alcalinidade em função do pH apresenta-se com as seguintes faixas e produtos químicos representativos:

- pH = 12,3 a 9,4 – alcalinidade decorrente de hidróxidos e carbonatos;
- pH = 9,4 a 8,3 – alcalinidade decorrente de carbonatos e bicarbonatos;
- pH = 8,3 a 4,4 – alcalinidade decorrente somente de bicarbonatos.

### 3.2.2.3 Compostos Orgânicos

Os compostos orgânicos nas águas brutas têm origem de três formas principais: atividades antrópicas, substâncias orgânicas naturais e reações químicas que ocorrem nas estações. Na primeira forma, as substâncias decorrentes de atividades antrópicas, resultam do lançamento de águas residuárias sanitárias ou industriais, tratadas ou não, do escoamento superficial urbano ou rural e do escoamento subsuperficial em solos contaminados.

As substâncias húmicas, substâncias orgânicas naturais, que também podem ser compostas de micro-organismos, seus metabólitos e hidrocarbonetos aromáticos, normalmente não são prejudiciais ao ser humano, mas algumas podem agir como precursores de trihalometanos e outros compostos organo-halogenados durante o processo da desinfecção, se o cloro livre for utilizado como pré-oxidante.

A medida do carbono orgânico total (COT) pode fornecer uma ideia da composição orgânica total da água, enquanto a do halogenado orgânico total (HOT)

indica a presença de compostos orgânicos halogenados (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

A intensa atividade industrial e novos produtos lançados no mercado tornam praticamente impossíveis a enumeração e a quantificação de todos os produtos orgânicos que podem estar presentes na água. No Brasil, estima-se mais de 300.000 princípios ativos de agroquímicos e mais de 4.000 produtos comerciais. Esses compostos, em função da aplicação e concentração podem ser extremamente maléficos ao ser humano. Os danos podem ir desde pequenas irritações nos olhos, nariz, problemas cancerígenos, danos nos rins, fígado, pulmões, depressão, problemas cardíacos, esterilidade masculina, diabetes, alterações de pele entre outras anomalias (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

A nossa legislação preconiza limites máximos permitidos na água de consumo humano. Entretanto, as metodologias e procedimentos de laboratório para determinação desses compostos constituem sérias dificuldades para os operadores de estações de tratamento e órgãos de controle, pois exige equipamentos sofisticado e pessoal especializado para realização destes ensaios.

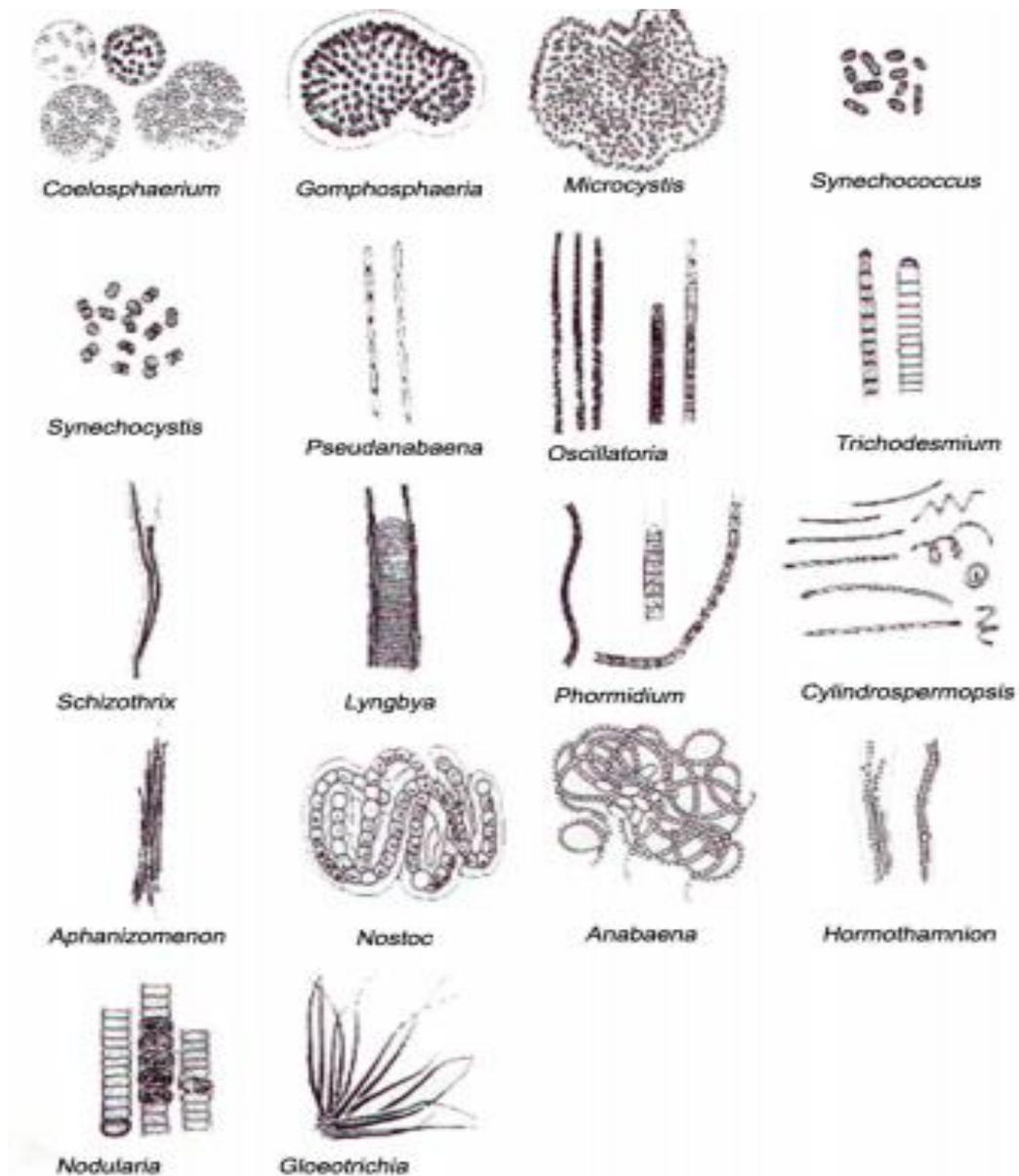
### **3.2.3 Características Biológicas**

As características biológicas das águas são determinadas por meio de exames de dois tipos: bacteriológicos e hidrobiológicos. O hidrobiológico é utilizado para identificar e quantificar espécies de organismos presentes na água. Esses organismos são microscópicos, identificados como fitoplâncton, subdivididos nos seguintes grupos: algas, protozoários, rotíferos, crustáceos, vermes e larvas de insetos. Suas análises são importantes no auxílio da interpretação de exames que podem ajudar identificar pontos de poluição das águas, com possibilidade de adoção de medidas de controle para prevenir o desenvolvimento de organismos indesejáveis do ponto de vista do tratamento da água (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

As algas podem causar sérios problemas operacionais nas estações de tratamento, podendo flotar nos decantadores e ser carregada para os filtros, obstruindo seus poros em poucas horas de operação. Se a sua remoção for deficiente ou com passagem expressiva no sistema de filtração podem, algumas espécies de algas, causar odor e sabor na água tratada, inclusive possibilitar a

formação de compostos organoclorados. Algumas microalgas do gênero das cianofíceas (cianobactérias) podem representar sério perigo aos sistemas de abastecimento de água, principalmente no aspecto da saúde pública, se as estações não estiverem preparadas para removê-las ou inativá-las (Figura 02).

**Figura 02 – Gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas**



Fonte: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/cianobacterias.pdf> (26/06/2018).

Os exames bacteriológicos são responsáveis pela indicação de poluição recente de fezes ou contaminação da água. Grupos de coliformes são utilizados

como indicadores de poluição. Quando detectados coliformes totais ou E. Coli nas águas destinadas ao consumo humano, deverão ser tomados cuidados especiais com a escolha da tecnologia de tratamento adequada, por haver relação entre a turbidez e o número de coliformes nos efluentes de filtros rápidos das estações.

Em geral, quanto menor a turbidez da água filtrada, menor o número de coliformes, o que contribui para melhorar a eficiência da desinfecção (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

### **3.3 Tecnologias de Tratamento**

A água de qualquer qualidade pode ser tecnicamente e do ponto de vista tecnológico, transformada em água potável, porém os custos envolvidos na operação e manutenção podem inviabilizar, totalmente, o uso de terminadas fontes de água para abastecimento. Em função da qualidade da água de determinado manancial e suas relações com o meio ambiente, têm-se tecnologias específicas para que o tratamento seja eficientemente realizado.

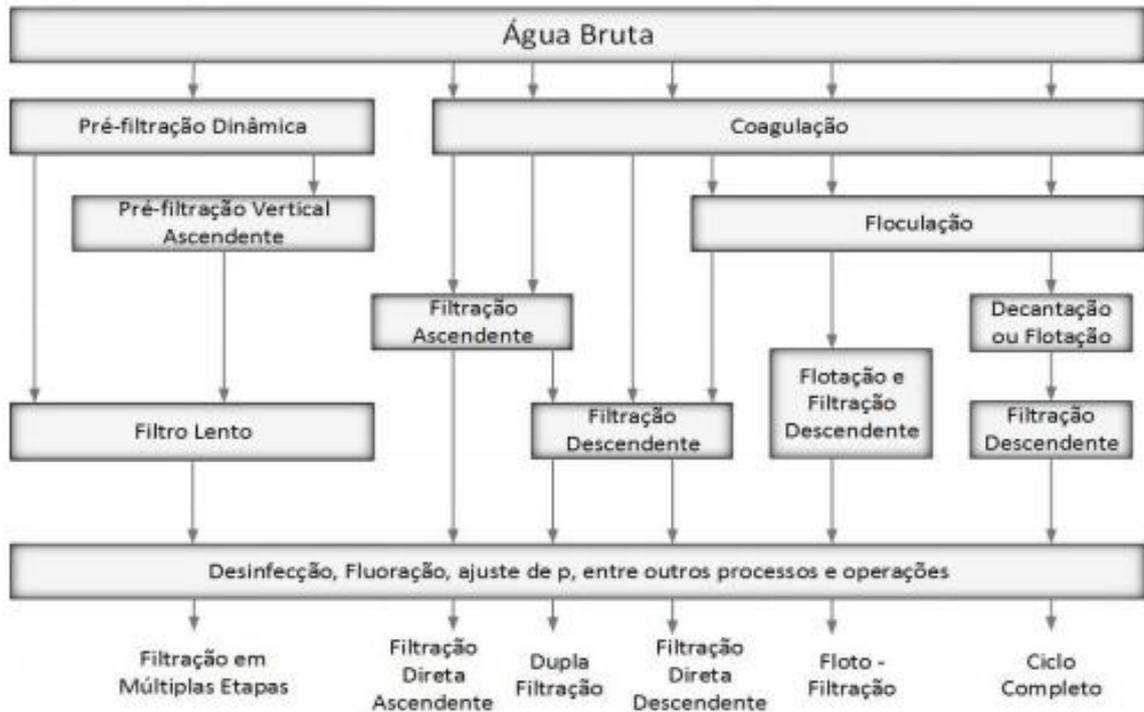
O projeto de estações de tratamento de água normalmente deve se basear em dados de estudos de laboratório ou, preferencialmente, instalações piloto de escoamento contínuo. Ainda assim, o projetista pode incorrer em erros graves, quando opta pela tecnologia de tratamento ou parâmetros de projeto equivocados, mesmo quando a qualidade da água bruta em estudo seja bastante conhecida.

Segundo Di Bernard & Dantas (2005), em países em desenvolvimento tem sido observado que não existe relação entre a qualidade da água bruta e a tecnologia empregada, com comprometimento da operação da estação, tanto em relação ao consumo exagerado de produtos químicos, quanto da qualidade da água produzida.

As tecnologias de tratamento de água menos sofisticadas (sem uso de membranas, oxidantes alternativos e carvão ativado) podem ser resumidas em dois grandes grupos: sem coagulação química e com coagulação química. Essas podem ou não serem precedidas de pré-tratamento. Na Figura 03 são apresentadas as principais alternativas de tratamento com ou sem coagulação química, com ou sem pré-tratamento. É imperativo entender que a qualidade da água bruta é decisiva na

escolha da tecnologia de tratamento, e que a água quimicamente coagulada pode seguir diversos caminhos até chegar aos filtros.

**Figura 03 – Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano**



Fonte: Adaptado Di Bernardo, Sabogal Paz, 2008, p 116.

### 3.3.1 Tratamento em Ciclo Completo

Utiliza-se um sal de alumínio ou ferro para coagular a água bruta num mecanismo conhecido como varredura, no qual ocorre a formação de precipitados do metal coagulante, onde as impurezas são aprisionadas. Esse fenômeno ocorre na unidade de mistura rápida, a qual pode ser hidráulica ou mecanizada. Logo em seguida, a água coagulada é submetida à agitação lenta durante um período de tempo até que os flocos alcancem tamanhos e peso suficientes para que sejam removidos por sedimentação nos decantadores ou por flotação nos flotadores, cuja unidade do processo é conhecida como floculação (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

A floculação pode ser realizada em unidades mecanizadas ou hidráulicas. Os decantadores podem ser convencionais ou de alta taxa. Os primeiros

são grandes, de escoamento horizontal ou vertical, enquanto os últimos são empregados módulos de plástico, fibra ou placas paralelas. A água clarificada, produzida nos decantadores ou flutuadores, é finalmente direcionada às unidades de filtração com escoamento descendente, contendo materiais granulares com granulometria apropriada, geralmente areia ou antracito e areia. A lavagem do meio filtrante é geralmente realizada com água ou com ar e água (Figura 04).

**Figura 04 – Estação de Tratamento de Ciclo Completo**



Fonte: [www.sae.com.br/aqua/eta](http://www.sae.com.br/aqua/eta) (20/11/2018)

### 3.3.2 Filtração Direta

Na filtração direta, a água bruta é coagulada por meio do mecanismo de coagulação por neutralização de cargas, com a utilização de sais de alumínio ou ferro e ajuda de um auxiliar de coagulação, que pode ser um polímero catiônico, aniônico ou neutro. Em comparação ao processo de varredura, são empregadas dosagem menores de coagulantes e, geralmente, o pH de coagulação é menor, a depender das características da água bruta. A unidade de mistura rápida nessa tecnologia deve permitir que sejam formados pequenos flocos, com grande resistência às forças de cisalhamento durante a filtração.

O sistema de filtros mais utilizados nesta tecnologia é de taxa declinante variável (FDD). O meio filtrante geralmente é constituído de antracito e areia, ou somente areia com granulometria uniforme, de modo a garantir que haja penetração de impurezas ao longo do material granular, resultando em carreiras de filtração com

duração razoável. É fundamental, para o funcionamento satisfatório da estação de tratamento de água, a lavagem do meio filtrante com ar e água. No caso de estação de ciclo completo, quando na ocasião de estiagem, quando normalmente a turbidez e a cor são relativamente baixas, pode-se desviar a água coagulada ou pré-floculada para os filtros diretamente, podendo diminuir os custos de operação (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

### **3.3.3 Floto-Filtração**

A floto-filtração é tipo de tecnologia usada no tratamento de águas que possuem elevada concentração de algas ou cor verdadeira relativamente alta. A água bruta é coagulada no mecanismo da varredura e em seguida floculada. Na entrada de cada unidade de floto-filtração tem-se a mistura da água de recirculação (água filtrada, pressurizada e com ar dissolvido) na proporção de até 10% da vazão de água floculada. O material sólido flota com a mesma taxa com que o sobrenadante é filtrado. Em geral, os filtros funcionam com taxa e nível de água constante e o material flotado é raspado periodicamente.

## **3.4 Técnicas de Pré-tratamento de Água**

O pré-tratamento apresenta-se com diversas tecnologias e com diferentes variantes, como a decantação, pré-filtração dinâmica, pré-tratamento com filtração com escoamento vertical ou horizontal ou a combinação de algumas dessas tecnologias.

### **3.4.1 Pré-tratamento com Decantação**

A decantação tem sido empregada precedendo as tecnologias de tratamento de ciclo completo e filtração direta, quando a água captada de um determinado rio é conduzida a um lago com tempo de detenção geralmente superior a 2 meses. Nas épocas chuvosas, o rio pode apresentar elevadíssimos picos de turbidez e de sólidos suspensos, impossibilitando o funcionamento da estação de tratamento, sem a existência de unidade de decantação (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

Nos casos dos lagos, ocorre a remoção considerável de bactérias, protozoários, fungos, vírus ou outros organismos, fato relacionado ao tempo médio de detenção. Por outro lado, com a clarificação da água e a penetração de luz solar,

poderá surgir o florescimento de algas, se a água contiver os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento, especialmente o fósforo, que conseqüentemente poderá dificultar a operação da estação de tratamento de água por obstrução de seu sistema de filtração.

### **3.4.2 Pré-tratamento com Filtração Dinâmica**

A pré-filtração pode ser empregada de duas formas como pré-tratamento: para remover impurezas e para amortecer picos de turbidez ou sólidos suspensos. Recomenda-se que ao utilizar a filtração direta, como processo principal numa estação de tratamento de água, deve-se projetar a pré-filtração dinâmica para amortecer picos de turbidez ou sólidos suspensos, pois é esperado que ocorresse a colmatação da subcamada superior de pedregulho do pré-filtro. Neste filtro, a velocidade de escoamento do excesso (que não é captada) é relativamente pequena e é maior a taxa de filtração quando este tipo de pré-filtro dinâmico é comparado àquele projetado para remover impurezas (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

Reporta-se que esse sistema de pré-filtro se apresenta com eficiência da ordem de 80% a 90% de remoção de coliformes totais e fecais, o que assegura o funcionamento adequado e seguro da tecnologia posterior de tratamento com uso da coagulação química. Portanto, há necessidade da execução de ensaios com o fim de obter as condições apropriadas no processo.

### **3.4.3 Pré-tratamento com Filtração com Escoamento Vertical ou Horizontal**

A característica da captação e da qualidade da água bruta podem prescindir da pré-filtração dinâmica, tendo-se a pré-filtração com escoamento vertical ou a horizontal como pré-tratamento. Em seguida, no processo, tem-se a filtração direta, podendo haver vantagens, pois os pré-filtros podem ser projetados de forma que sejam realizadas descargas de fundo intermediárias, prolongando a duração da carreira de filtração. Também há possibilidade de se utilizar primeiro a coagulação e depois a pré-filtração com o escoamento vertical ou horizontal, seguida da filtração descendente. Para Ahsan (1995), a coagulação prévia de água com turbidez de até 400 uT e, posteriormente submetida a pré-filtração horizontal, é suficiente para a produção de água com turbidez inferior a 5 uT.

### **3.5 Sustentabilidades, Meio Ambiente e Tecnologias de Tratamento**

Pelo que foi apresentado anteriormente, existem muitas tecnologias e variações destas, que podem ser empregadas. Entretanto, quando se tem informações sobre as características da comunidade, particularmente em países em desenvolvimento, há restrição à utilização de tecnologias de tratamento de alto custo, pois a sustentabilidade do sistema como um todo passa a desempenhar papel importantíssimo para que seja continuamente produzida água com qualidade satisfatória e em quantidade compatível com as necessidades durante o período de projeto para qual o sistema foi projetado.

Desta forma, a sustentabilidade é função de vários fatores, destacando a cultura e os costumes da população, capacidade de endividamento da comunidade, existência de mão de obra qualificada, disponibilidade de materiais de construção e de produtos químicos, vazão de água a ser tratada, confiabilidade na operação e manutenção e padrão de potabilidade.

Para Di Bernard & Dantas (2005), a conservação da bacia hidrográfica, com a consequente proteção dos mananciais, é sem dúvida o melhor método para assegurar a qualidade da água destinada ao consumo humano. Para impedir os riscos da população e contaminação, pelo ser humano ou por animais, devem ser evitados lançamentos de despejos líquidos que contêm organismos patogênicos e disciplinar o desenvolvimento de atividades agrícolas que exigem emprego de agroquímicos que contêm elementos tóxicos ou fertilizantes que possuem nutrientes, os quais são carregados para os cursos de água por escoamento superficial ou sub-superficial, causando o florescimento de algas e outros inconvenientes para a operação de sistemas de tratamento.

Como consequência de tudo isto é exigida técnicas de tratamento sofisticadas para os países em desenvolvimento, como o uso de agentes oxidantes, como o permanganato de potássio, ozônio, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, carvão ativado em pó, torres de extração de compostos orgânicos voláteis, aeração mecanizada, etc.

### 3.6 Etapas de Processo e Intervenientes na Operação da Tecnologia de Tratamento por Filtração Direta

A tecnologia de tratamento de água por filtração direta descendente surgiu da necessidade de tratar água bruta cujos parâmetros turbidez e cor verdadeira são relativamente baixos, comparado com os das ETAs do tipo ciclo completo. Enquanto no ciclo completo a coagulação é realizada pelo mecanismo de varredura, na filtração direta essa etapa é realizada pelo mecanismo de absorção/neutralização de cargas, com significativa redução de consumo de produtos químicos.

A filtração direta descendente (FDD) pode possuir as seguintes etapas de processo: mistura rápida, floculação e filtração. Dependendo da qualidade da água bruta, principalmente do tamanho das partículas, das características do meio filtrante e da taxa de filtração, a floculação pode não ser necessária. Assim, em consequência da existência ou não dessa etapa, a tecnologia da FDD é classificada em: filtração direta descendente com floculação (FDDCF) e filtração direta descendente sem floculação (FDDSF). A FDD, na década de 1970, foi bastante utilizada nos Estados Unidos e no Canadá, principalmente nas regiões montanhosas e no Grande Lagos. No Brasil, especificamente, essa tecnologia foi expandida para diversas ETAs a partir de 1980 (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

Em comparação ao tratamento em ciclo completo, a FDD apresenta as seguintes vantagens:

- Redução do investimento inicial com obras civis e equipamentos de cerca de 30 a 70%;
- Custo menor de operação e manutenção, uma vez que são eliminados equipamentos de remoção de lodo, os decantadores, e também, algumas vezes, os floculadores;
  - Redução do consumo de coagulantes;
  - Produção menor de volume de lodo;
  - Diminuição do consumo de energia elétrica;
  - Facilidade de tratamento de água com baixa turbidez.

Dentre as desvantagens, destacam-se:

- Dificuldade no tratamento de água bruta com turbidez ou cor verdadeira alta;
- Necessidade de monitoramento contínuo e controle dos principais parâmetros de qualidade, tanto da água bruta quanto a filtrada;
- Tempo relativamente curto para que o operador perceba qualquer mudança de qualidade na água bruta;
- Tempo médio de permanência da água na ETA relativamente pequeno para oxidação de substâncias orgânicas presentes na água bruta.

### **3.6.1 Parâmetros que Influem na Tecnologia de Filtração Direta Descendente**

Os principais fatores de projeto, operação e manutenção, que influem na eficiência da FDD são: qualidade da água bruta, coagulação e produtos químicos, mistura rápida (gradiente de velocidade e tempo de agitação), existência da floculação (gradiente de velocidade e tempo de floculação), taxa de filtração, meio filtrante, taxa constante ou declinante, eficiência na lavagem e monitoramento.

#### **3.6.1.1 Qualidade da Água Bruta**

No meio acadêmico e principalmente nos trabalhos de pesquisa, há grande controvérsia sobre os limites dos parâmetros de qualidade da água bruta a ser submetida à FDD, principalmente, porque esses trabalhos referem-se a condições operacionais diversas, com diferentes meio filtrantes, método de operação dos filtros e a existência ou não da floculação.

Para o parâmetro turbidez, tem sido limitada em 25 uT por muitos pesquisadores, embora picos de turbidez de até 100 uT possam ser admitidos por períodos de tempo inferiores a 12 horas (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

#### **3.6.1.2 Matéria Orgânica Natural**

A matéria orgânica natural e, principalmente, as substâncias húmicas são responsáveis pela cor verdadeira presente nas águas. Tanto a dosagem de coagulante primário e o correspondente pH de coagulação são altamente influenciados pela concentração de substâncias húmicas. Quanto maior a concentração dessas substâncias, maior é o consumo de coagulante primário, o que pode inviabilizar totalmente o uso da FDD (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

A concentração de matéria orgânica natural na água tem sido medida em termos de cor verdadeira, a qual tem sido limitada pelos pesquisadores em 50 uC, para aplicação na FDD. Outros parâmetros têm sido propostos atualmente, como o carbono orgânico total (COT), quando existe a matéria orgânica particulada ou o carbono orgânico dissolvido (COD). O COT tem sido limitado a 5 mg/L para o emprego na FDD.

### **3.6.1.3 Alcalinidade e pH**

Como na FDD a coagulação com sais de ferro e alumínio deve ser realizada no mecanismo de adsorção/ neutralização de cargas, é fundamental o controle e monitoramento do pH de coagulação resultante. Muitas vezes, apesar de baixa turbidez e cor verdadeira, a água bruta apresenta o pH superior a 7 e a alcalinidade relativamente maior do que 30 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Uma solução é a utilização de um ácido para consumir parcialmente os produtos da alcalinidade ou uso de outro coagulante, destacando-se um sal de ferro (cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico), um polímero catiônico ou o cloreto de polialumínio (hidroxicloreto de alumínio). Porém, dependendo da turbidez, cor verdadeira, concentração de algas, etc, águas brutas com alcalinidade muito baixa, menor do que 5 mg CaCO<sub>3</sub>/L, podem requerer o uso de algum tipo de alcalinizante para ajuste do pH de coagulação.

### **3.6.1.4 Algas**

As algas, dependendo da família e do gênero, podem influenciar fortemente a turbidez da água bruta, razão pela qual, é recomendável quantificar e qualificar esses organismos em diferentes épocas do ano, já que as condições climáticas influem substancialmente no seu florescimento.

Em geral, as concentrações de fósforo total e de nitrogênio total superior a 50 µg/L e 500 µg/L, respectivamente, são considerados limitantes ao fenômeno da eutrofização (fenômeno com acentuado desenvolvimento de algas). No Quadro 02, o teor de clorofila-a é o parâmetro comumente utilizado para definir os níveis tróficos de um corpo d'água, principalmente nas regiões tropicais, embora o número total de indivíduos, expresso em Ind/L, seja o parâmetro geralmente considerado na avaliação da possível influência das algas no desempenho de sistemas de FDD.

**Quadro 02 – Níveis tróficos de lagos em função do teor de clorofila-a**

Nível trófico	Teor de clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ )
Oligotrófico	0 a 4
Mesotrófico	4 a 10
Eutrófico	> 10

Fonte: (DI BERNARD & DANTAS, 2005), p. 733.

As algas, quando presentes em concentrações da ordem de 200.000 Ind/L, já alteram a variação da perda de carga ao longo da carreira de filtração, mesmo quando se tem meio filtrante de dupla camada (antracito e areia). Segundo Huchinson (1976), numa instalação de FDD, constatou que para concentração de algas de cerca de 1.000.000 Ind/L, era necessário aumentar o tamanho efetivo do antracito de 1,0 mm para 1,6 mm, visando a obtenção de carreiras de filtração com duração de pelo menos 12 horas, e para concentrações superiores a 5.000.000 Ind/L, era sugerido a necessidade do emprego de micro peneirador como pré-tratamento.

Na construção de lagos artificiais é possível a ocorrência de alterações significativas da água, podendo com o tempo, tornar inviável o emprego da FDD, ou concorrer para a alteração dessa tecnologia adotada na época da construção. Há gêneros de algas que surgem desde o início da formação do lago e permanecem por muitos anos, alguns gêneros deixam de existir após certo tempo e outros passam a ser observados somente depois de determinada época. Torna-se importante o conhecimento dos gêneros, e quando possível, das espécies predominantes, pois, independentemente de sua forma, tamanho e mobilidade, elas podem não ser removidas durante a filtração. Entretanto, é sabido que as algas filamentosas acarretam obstrução mais rápida do meio filtrante.

Os pesquisadores Sens et al. (2003) avaliaram a eficiência na filtração e o número de horas de carreira de filtração de dois conjuntos de filtros com meio filtrante de antracito em camada única (L1), comparado com o meio filtrante

estratificado com antracito e areia (L<sub>2</sub>), leito semelhante ao existente na ETA da Lagoa do Peri (Florianópolis, SC, Brasil), conforme especificados no Quadro 03.

A Lagoa do Peri, em 2003, apresentava-se como eutrofizada, com grande número de algas filamentosas durante algumas épocas do ano, registrando média anual entre 50.000.000 Ind/L e 150.000.000 Ind/L, com uma das espécies dominantes a *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Os ensaios foram realizados numa instalação piloto de escoamento contínuo, com os seguintes parâmetros de controle: mistura rápida ( $G_{mr} = 1.200 \text{ s}^{-1}$ ;  $T_{mr} = 30 \text{ s}$ ); coagulação com sulfato de alumínio (dosagem = 24 mg/L; pH de coagulação = 6,0 a 6,1; turbidez da água filtrada = 0,4 uT) e depois coagulação com hidroxocloreto de alumínio (dosagem = 22 mg/L; pH de coagulação = 5,5 a 6,5 e turbidez da água filtrada = 0,3 uT). Essa unidade piloto foi operada com escoamento descendente, com taxa de filtração constante de 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e carga hidráulica variável, sendo as carreiras de filtração encerradas quando a perda de carga total no meio filtrante atingisse 2,0 m.

Os resultados obtidos por Sens et al. (2003), Quadro 03, revelaram que as carreiras de filtração mais longas (da ordem de 73%) foram obtidas com o meio filtrante L<sub>1</sub> (camada única de antracito), quando comparadas com as carreiras realizadas com o meio filtrante L<sub>2</sub>, além de melhorar a qualidade média do efluente, independente do coagulante utilizado.

**Quadro 03 – Características dos meios filtrantes utilizados no filtro descendente**

Características	Meio Filtrante L <sub>1</sub> (camada única)	Meio Filtrante L <sub>2</sub> (camada dupla)	
		Antracito	Areia
Material	Antracito	Antracito	Areia
Espessura da camada	143 cm	90 cm	30 cm
Tamanho efetivo dos grãos	2,5 mm	1,1 mm	0,50 mm
Coefficiente de desuniformidade	1,1	1,1	< 2

Fonte: (DI BERNARD & DANTAS, 2005), p. 734.

Mota Filho (2005) pesquisou numa instalação piloto de filtração descendente, sem floculação, com o objetivo de estudar a influência das características do meio filtrante e das condições de coagulação e de pré-cloração na qualidade da água filtrada e na duração da carreira de filtração, no tratamento de água eutrofizada com predominância de cianobactérias.

Esse trabalho experimental foi realizado em duas fases: na primeira foram estudados dois meios filtrante de areia (estratificada e praticamente uniforme), com água coagulada com dois tipos de hidroxiclreto de alumínio (teores de  $Al_2O_3$  iguais a, respectivamente, 18% e 23%), para dosagens aplicadas de 5 e 10 mg/L, emprego da pré-cloração com dosagens de cloro livre de 0, 2,5 e 5,0 mg/L.

Na segunda fase, foi usado somente o hidroxiclreto de alumínio a 18%, dosagens aplicadas de 5 e 10 mg/L, pré-oxidação com cloro livre de residual de 0,25 e 5,0 mg/L, avaliados dois meios filtrantes com camada única de areia e de antracito, ambos com granulometria uniforme. Nas duas fases, a taxa de filtração foi mantida constante e igual a  $280 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ .

Utilizaram-se critérios diferentes para o encerramento das carreiras de filtração, conforme a fase era desenvolvida. Na primeira, quando a perda de carga atingia 1,40 m ou quando decorriam 15 horas do início do ensaio. Na segunda fase, apenas quando a perda de carga decorrente da retenção de impurezas atingia 1,40 m, mas somente no filtro sem pré-cloração, pois este era utilizado como filtro de controle.

A lavagem dos filtros era executada com ar durante cerca de 2 min., seguida da lavagem com água durante 7 min., com velocidade para causar expansão de 40% no meio filtrante.

Ao longo da realização da pesquisa experimental, a água bruta apresentava as seguintes características:

- Primeira fase: turbidez = 7,3 a 11,1 uT; pH = 7,5 a 8,1; cor aparente = 95 a 125 uC;
- Segunda fase: turbidez = 7,6 a 14,3 uT; pH = 7,1 a 8,2; cor aparente = 90 a 125 uC;

A concentração de fitoplâncton variou de  $2,4 \times 10^5$  a  $3,7 \times 10^5$  Cél/mL, destacando-se as cianobactérias *Planctothrix agardhii* (concentração de  $2,0 \times 10^5$  a  $2,9 \times 10^5$  Cél/mL) e *Cylindrospermopsis raciborskii* ( $7 \times 10^3$  e  $3 \times 10^4$  Cél/mL).

As principais conclusões do trabalho de Mota Filho (2005) foram:

- Mesmo com turbidez da ordem de 0,5 uT, a água filtrada ainda apresentou uma concentração relativamente alta de *Planctothrix agardhii*, da ordem de 7.000 Cél/mL, o que pode contribuir para a formação de compostos indesejáveis na água quando for realizada a pós-cloração;
- A utilização de agente pré-oxidante mostrou-se necessária para o tratamento da água em questão, uma vez que possibilitava reduzir sobremaneira a cor e a turbidez da água filtrada, mas deve-se ter cuidado com a formação de subprodutos indesejáveis;
- A turbidez remanescente na água filtrada foi significativamente menor para a dosagem de coagulante de 10 mg/L, que para a dosagem de 5 mg/L, quando associada a pré-cloração, em todos os tratamentos analisados;
- A taxa de crescimento da perda de carga do hidroxiclreto de alumínio de 18%, associado à pré-cloração foi significativamente maior do que sem a pré-cloração;
- A taxa de crescimento da perda de carga foi significativamente maior para o filtro com areia estratificada do que para o filtro com areia praticamente uniforme, em todos os tratamentos analisados;
- Embora a condição operacional obtida tenha possibilitado eficiência de remoção de algas superior a 95%, o número de células na água filtrada foi relativamente elevado, com no mínimo da ordem de 3.500 Cel/mL e máximo superior a 200.000 Cel/mL, o que em parte se deve às diminutas dimensões das células da espécie predominante (*Planctothrix agardhii*);
- Os melhores resultados obtidos em termos de qualidade de água tratada e duração da carreira de filtração foram conseguidos com as seguintes condições operacionais: coagulação com 10 mg/L de hidroxiclreto de alumínio a 18%; associado à pré-cloração com 5 mg/L e meio filtrante de antracito ou areia praticamente uniforme, com resultados ligeiramente melhores para a areia.

### **3.6.1.5 Coagulação e Produtos Químicos**

As etapas de coagulação, floculação ou filtração estão diretamente relacionadas com o tipo de coagulante primário e/ou auxiliar de coagulação em conjunto com a qualidade da água bruta a ser tratada. Os principais parâmetros de qualidade da água bruta estão indicados no Quadro 04. É importante registrar que a temperatura também influi consideravelmente na eficiência da coagulação, floculação e filtração.

O mecanismo de adsorção e neutralização de cargas é o tipo utilizado na FDD, com a aplicação de sais de alumínio ou ferro. Os coagulantes comumente usados são: sulfato de alumínio, sulfato férrico, sulfato ferroso clorado, cloreto férrico, cloreto de polialumínio, polímeros sintéticos catiônicos, aniônicos, neutros e polímeros naturais a base de amido.

**Quadro 04 – Limites dos parâmetros de qualidade da água bruta para o emprego da filtração direta descendente**

Parâmetro	Valor limite
Turbidez (uT)	95% do tempo $\leq$ 25
	100% do tempo $\leq$ 100
Cor verdadeira (uC)	95% do tempo $\leq$ 25
	100% do tempo $\leq$ 100
Carbono orgânico total (mg/L)	100% do tempo $\leq$ 5
Sólidos suspensos totais (mg/L)	95% do tempo $\leq$ 50
	100% do tempo $\leq$ 150
Concentração de algas (Ind/L)	95% do tempo $\leq$ 500.000
	100% do tempo $\leq$ 1.000.000
Escherichia coli (NMP/ 100 mL)	95% do tempo $\leq$ 100
	100% do tempo $\leq$ 500
Coliformes totais (NMP/ 100 mL)	95% do tempo $\leq$ 500
	100% do tempo $\leq$ 2.500
Ferro total (mg/L)	95% do tempo $\leq$ 5
	100% do tempo $\leq$ 10
Manganês total (mg/L)	95% do tempo $\leq$ 1
	100% do tempo $\leq$ 2

Fonte: (DI BERNARD & DANTAS, 2005), p. 750.

O tempo de permanência da água bruta na FDD normalmente é curto (geralmente de 10 a 40 minutos), portanto é interessante a realização de ensaios de jarros diários para o monitoramento dos resultados de água coagulada e filtrada no processo de FDD.

Os polímeros aniônicos ou neutros são usados como auxiliares de floculação e os catiônicos podem ser empregados como coagulante primário ou como auxiliar de coagulação. Dependendo da qualidade da água bruta, torna-se interessante a utilização de polímero catiônico em substituição a um sal de alumínio ou ferro, entretanto, deve-se cuidar do procedimento de lavagem do filtro, pois esse processo deve ser eficiente para evitar a formação de bolas de lodo. A escolha do tipo de polímero catiônico como coagulante primário depende de sua massa molecular, densidade de carga, dosagem requerida, condições de mistura rápida e do tamanho predominante das partículas presentes na água.

#### **3.6.1.6 Mistura Rápida**

Na FDD, o gradiente de velocidade ( $G_{mr}$ ) mais eficiente na mistura rápida, que conduz a maior eficiência da coagulação no mecanismo de adsorção e neutralização de carga, é a que se encontra na faixa de 400 a 1.200  $s^{-1}$ . Já o tempo de agitação parece não influir decisivamente na eficiência da mistura rápida, que geralmente é adotado 60 s (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

#### **3.6.1.7 Floculação**

A utilização da floculação é de grande controvérsia na sua utilização na tecnologia FDD, como é mostrado no Quadro 05. Da literatura, sabe-se que há relação entre o tamanho das partículas e sua concentração na água bruta, podendo haver necessidade da floculação em algumas situações, como também outras variáveis devem ser avaliadas, como o meio filtrante, a taxa de filtração, a carga hidráulica disponível e etc. Somente com a realização de uma investigação experimental é que se pode otimizar o desempenho dessa etapa e da tecnologia.

**Quadro 05 – Parâmetros da floculação na filtração direta descendente**

Pesquisadores	Tempo de floculação (min.)	Gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ )	Observações
Hutchinson (1978)	4 a 25	20 a 300	Melhores resultados obtidos com $G_f = 80 s^{-1}$ e $T_f = 20$ min.
Monscvtz et tal (1978)	30	14 a 28	Maior penetração de impurezas quando foi realizada a floculação.
Treweek (1979)	0 a 45	100	$T_f > 7$ min. para produzir flocos com tamanho apropriado à filtração.
Tate & Trussel (1980)	15	100	Pesquisa realizada com cor elevada.
McCormick & King (1982)	10 a 38	20 a 60	$T_f$ menor ou igual a 10 min. para qualquer valor de $G_f$ .
Edzwald et tal (1987)	5 a 30	20 a 70	Não houve benefícios para a filtração de água com valores baixos de turbidez e cor, porém, a taxa de crescimento de perda de carga no meio filtrante foi menor com a realização da floculação.
Di Bernardo (1993)	4 a 12	20 a 100	Os melhores resultados foram obtidos com $G_f$ menor ou igual a $50 s^{-1}$ e $T_f$ de 4 a 8 min.

Fonte: (DI BERNARD & DANTAS, 2005), p. 760.

### 3.6.1.8 Pré-oxidação

Vários produtos químicos têm sido avaliados como potências pré-oxidantes para aumentar a eficiência dos processos de tratamento de água, principalmente a partir da década de 1970, quando começou a se descobrir os efeitos negativos dos subprodutos da cloração. Dentre os principais produtos químicos investigados destacam-se o cloro, dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio, radiação ultravioleta (UV) e o peróxido de hidrogênio.

Para a escolha do pré-oxidante, deve-se levar em conta aos seguintes aspectos:

- Capacidade de destruir, ou inativar, desde o ponto de vista de factibilidade técnica e econômica, os diversos organismos patogênicos com ocorrência possível em mananciais de abastecimento de água;
- Não ser tóxico ao ser humano e os animais domésticos e, nas dosagens usuais, não produzir sabor e odor objetáveis na água;
- Produzir residuais persistentes na água, assegurando a qualidade da água contra eventuais contaminações nas diferentes partes do sistema de abastecimento.
- Quando da formação de produtos secundários tóxicos, que estes estejam controláveis em níveis seguros à saúde;
- Estar disponível a custo acessível e oferecer condições seguras de transporte, armazenamento, manuseio e aplicação na água;
- Ter sua concentração na água medida de forma rápida por meio de métodos simples e confiáveis.

Pode-se afirmar que atualmente não existe um pré-oxidante que atenda a todos esses requisitos e que, portanto, possa ser considerado ideal.

A maior parte do carbono orgânico presente em ambientes aquáticos naturais está na forma de substâncias húmicas (SH), as quais são encontradas em solos, solos turfosos, sedimentares e águas naturais. As SH são substâncias de coloração escura, de natureza heterogênea, elevada massa molar, estrutura complexa e indefinida, são formadas pela degradação química e biológica de resíduos de vegetais e animais e de síntese de micro-organismos (THURMAN, 1985).

Segundo Thurman & Macolm (1981), as substâncias húmicas aquáticas (SHA) são a porção não específica, amorfa, constituída de substância orgânica dissolvida em pH igual a 2. Ainda são classificadas quanto à solubilidade em: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina, apresentam caráter hidrofóbico e são as principais responsáveis pela cor amarela ou marrom das águas naturais.

A presença de SH em mananciais destinados ao abastecimento público e o uso de tecnologias de tratamento de água inadequadas para a sua remoção podem ocasionar diversos problemas: as SH podem reduzir a eficiência do processo de desinfecção devido ao aumento na demanda de cloro; servir de substrato para o

crescimento de micro-organismos na rede de distribuição e/ou reservação de água tratada; complexar com alguns metais pesados, como o chumbo, ferro e manganês, dificultando as suas remoções; formar substâncias com sabor e odor desagradáveis; e formar subprodutos orgânicos halogenados, principalmente quando a pré-oxidação e/ou a desinfecção são feitas com o uso de cloro livre (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

Os principais subprodutos orgânicos halogenados formados na pré-oxidação e/ou na desinfecção são os trihalometanos (THM), as halocetonitrilas (HAN), as halocetonas (HK), as halopicrinas (HP), os tricloroacetaldeído (TCA) e ácidos haloacéticos (AHA).

A USEPA (2003) limita a formação de THM e AHA em águas de abastecimento tratada, em 0,080 mg/L e 0,060 mg/L, respectivamente. No Brasil, o padrão de potabilidade de água para consumo humano em vigência, Portaria de Consolidação nº 05, Anexo XX, do Ministério da Saúde, de 28 de setembro de 2017, limita em 0,1 mg/L, a concentração de THM, e a 0,08 mg/L a concentração de AHA.

Segundo Singer (1984), para reduzir a formação de THM e AHA em águas de abastecimento, recomenda-se três opções: a remoção de precursores da formação de subprodutos orgânicos halogenados; substituição do cloro por outro oxidante alternativo, como: dióxido de cloro, permanganato de potássio e ozônio, combinado ou não com o peróxido de hidrogênio, e/ou mudança no ponto de aplicação.

O dióxido de cloro é usado efetivamente em muitas estações de tratamento de água para oxidar o ferro e o manganês, para a desinfecção, para reduzir a formação de THM e AHA, etc. A principal desvantagem do uso do dióxido de cloro como oxidante é a formação de íon clorito, regulamentado pela USEPA (2003) quanto no Brasil em 1 mg/L (Portaria de Consolidação nº 05). Este íon está associado ao odor de “urina de gato” em águas, motivo pelo qual a dosagem máxima de dióxido de cloro deve ser controlada para que a concentração de clorito não exceda o limite máximo pela legislação. Segundo Rittiman (1996), em torno de 50 a 70% do dióxido de cloro aplicado se converte em clorito, o que limita a dosagem de dióxido de cloro em ETA no Brasil, na média entre 0,30 a 0,50 mg/L. Também, para Rittiman (1996), o uso de sais de ferro ou alumínio, como

coagulantes, pode reduzir a concentração de clorito na água final em torno de 1 mg/L.

A formação dos subprodutos orgânicos halogenados com a utilização dos pré-oxidantes cloro, dióxido de cloro, permanganato de potássio, ozônio e peróxido de hidrogênio foi estudada por Paschilato (2005). No estudo foi preparada água com cor verdadeira em torno de 200 uC, com adição de substâncias húmicas extraídas de solo turfoso e realizados ensaios de pré-oxidação, coagulação, filtração e pós-cloração. Os resultados obtidos mostram que esses pré-oxidantes formaram pequenas quantidades de subprodutos na faixa de 10 a 80 µg/L.

Assim como o dióxido de cloro, as reações de oxirredução do ozônio com matéria orgânica não geram subprodutos halogenados (THM e HAH). Entretanto, vários outros subprodutos orgânicos e inorgânicos podem ser formados, com destaque para os bromatos, na presença de íons brometos na água. Por causa de seu potencial tóxico, a maioria das normas de qualidade de água inclui valor máximo permitido para bromato. Uma das grandes desvantagens do uso do ozônio é sua incapacidade de manter residuais no sistema de distribuição, logo, só pode ser utilizado como desinfetante primário e deve ser aplicado em conjunto com um desinfetante secundário, como por exemplo, cloro ou dióxido de cloro.

Nas doses e comprimentos de onda usualmente aplicados no tratamento de água, a radiação UV não provoca maiores alterações na química da água nem interage de forma intensa com as substâncias químicas presentes na água. Portanto, é mínima a possibilidade da geração de THM e de outros produtos secundários. Por outro lado, também não são produzidos residuais desinfetantes.

#### **3.6.1.9 Meio Filtrante**

A maioria das instalações de FDD possui o meio filtrante constituído de antracito e areia ou de antracito ou areia isoladamente. Destaca-se que o desempenho do sistema de filtração depende do tipo de coagulante, do uso de auxiliar de floculação, da taxa de filtração e, evidentemente, da qualidade da água bruta. A utilização de camada de areia praticamente uniforme, de maior espessura e de grãos médios, tem-se mostrado ser a mais apropriada que o meio filtrante de antracito e areia junto. No Quadro 06 são apresentadas as características principais dos meios filtrantes utilizados na FDD.

**Quadro 06 – Características principais dos meios filtrantes utilizados na filtração direta descendente**

Característica	Duas ou três camadas			Areia praticamente uniforme	Antracito
	Antracito	Areia	Granada		
Tamanho dos grãos (mm)	0,71 a 2,40	0,45 a 2,00	0,21 a 0,59	1,0 a 1,68	1,0 a 2,4
Tamanho efetivo (mm)	1,0 a 1,3	0,5 a 0,6	0,25 a 0,35	1,1 a 1,3	1,2 a 1,5
Coefficiente de desuniformidade	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,25	< 1,3
Espessura da camada (m)	0,5 a 0,8	0,2 a 0,3	0,10 a 0,15	1,0 a 1,5	1,2 a 1,8

Fonte: (DI BERNARD & DANTAS, 2005), p. 760.

### 3.6.1.10 Taxa de Filtração e Carga Hidráulica Disponível

A taxa de filtração, como a floculação, na FDD é de difícil definição, pois depende da taxa de filtração, da granulometria do meio filtrante, da qualidade da água bruta e das dosagens de produtos químicos que estão intimamente relacionados. Há orientações na literatura que estação nos EUA foram projetadas para taxas de até 600 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. Entretanto, o que se tem observado na média são taxas abaixo de 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

Quanto maior a carga hidráulica disponível para retenção de impurezas, mais longa será a duração da carreira de filtração, se o meio filtrante possuir granulometria compatível com a velocidade de intersticial das partículas. Em meio filtrante constituído de antracito e área ou apenas areia de granulometria uniforme, pode-se adotar entre 2,0 a 2,5 m, nos sistemas de filtração com taxa declinante, a carga hidráulica disponível.

## 3.7 Propriedades do Dióxido de Cloro

### 3.7.1 Propriedades físicas e químicas do dióxido de cloro

O dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>) é a combinação neutra de oxigênio e cloro no estado de oxidação +4, sendo um radical livre com a seguinte estrutura química (Figura 05).

**Figura 05 – Estrutura química do dióxido de cloro.**



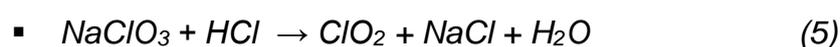
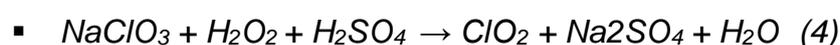
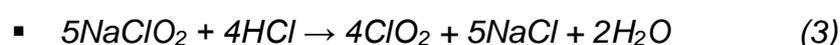
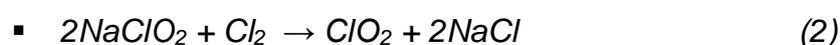
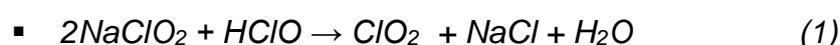
Fonte: ([https://pt.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido\\_de\\_cloro](https://pt.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_cloro), 25/09/2018).

Trata-se de um gás sintético de cor amarelo-esverdeado, com odor semelhante ao do gás cloro à temperatura ambiente. Em baixas temperaturas pode condensar, tornando-se de cor alaranjado. Seu ponto de fusão é  $-59\text{ }^{\circ}\text{C}$  e o seu ponto de ebulição é  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  (a  $101,3\text{ kPa}$ ). O dióxido de cloro é cerca de 2,4 vezes mais pesado do que o ar. Esse gás apresenta elevada solubilidade em água. É aproximadamente dez vezes mais solúvel que o cloro, mas é extremamente volátil e pode ser facilmente removido por aeração ou recarbonatação com o dióxido de carbono (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

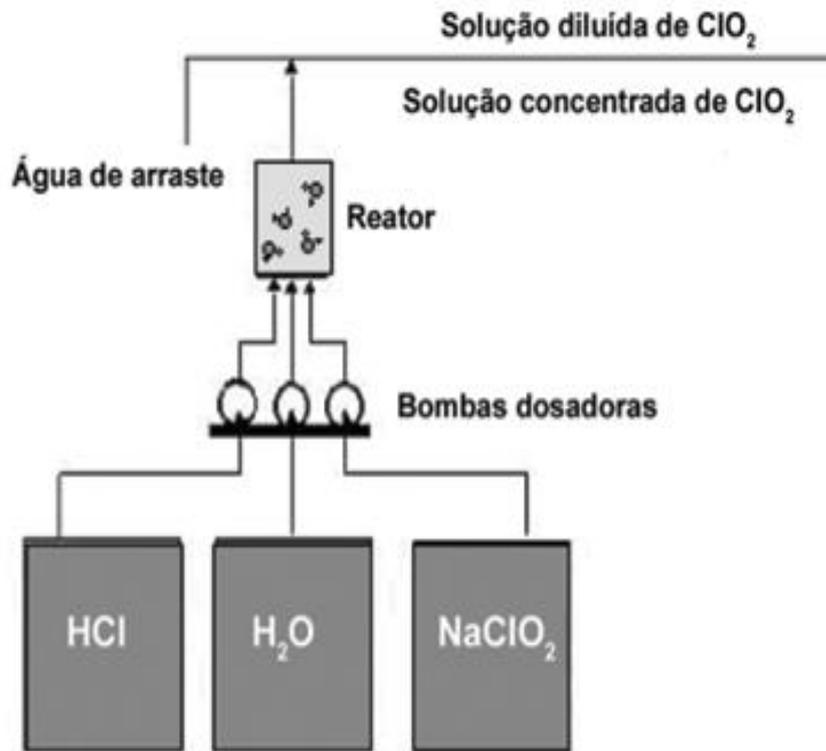
Diferentemente do cloro gás, o dióxido de cloro não se hidrolisa com facilidade, permanecendo na água na forma de gás dissolvido. Também em contraste com o que ocorre com o cloro, o dióxido de cloro se mantém na forma molecular nas faixas de pH usualmente encontradas em águas naturais.

Seu poder de desinfecção é superior aos de outros oxidantes utilizados para tratamento de água, como cloro e cloraminas. Porém, o dióxido de cloro não pode ser comprimido e vendido comercialmente por ser explosivo a baixa pressão e, conseqüentemente, não se recomenda o seu transporte. É considerado explosivo quando em concentrações que excedem 10% (v/v) em ar. Por isso, tem de ser gerado no local de aplicação (USEPA, 1999).

Os processos mais comuns de geração de dióxido de cloro para aplicação em estações de tratamento de água utilizarão de soluções de ácido clorídrico, clorito de sódio, ácido sulfúrico, peróxido de hidrogênio ou gás cloro, conforme Equações 01, 02, 03, 04, 05 e Figura 06:



**Figura 06 – Fluxograma básico para geradores de dióxido de cloro em estações de tratamento de água**



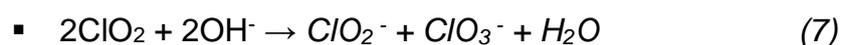
Fonte: Autor (26/09/2018).

Quando aplicado à água, por mecanismo de transferência de elétrons e na presença de substâncias redutoras (matéria orgânica, por exemplo), o dióxido de cloro reduz-se, principalmente a clorito.

O clorito pode ser oxidado a clorato na presença de cloro livre:



Além disso, em condições fortemente alcalinas (pH > 9), o dióxido de cloro decompõe-se em clorito e clorato, conforme a reação química abaixo:



De acordo com as equações apresentadas anteriormente, os principais subprodutos das reações de dióxido de cloro na água são clorito, clorato e cloretos, sendo o clorito o produto final predominante. Sob condições estáticas a 25 °C, cerca de 50 a 70% do dióxido de cloro é convertido em clorito e 30% em cloratos e cloretos (USEPA, 1999).

A distribuição de cloritos e cloratos depende do pH, da razão da demanda e dose aplicada de dióxido de cloro, da eficiência da reação para geração de dióxido de cloro e de reações fotoquímicas, prevalecendo cloratos em valores elevados de pH e na presença de luz ultravioleta (USEPA, 1999).

### **3.7.2 Vantagens e desvantagens do uso do dióxido de cloro no tratamento de água**

O dióxido de cloro é um poderoso agente oxidante com ampla utilização industrial, largamente como alvejante na indústria de celulose e papel, farinha e para curtimento final de couro. É também utilizado para clareamento de tecidos, produtos de palha e na produção de verniz e esmalte, participando ainda da produção de corantes, tinturas, fósforo, explosivos e herbicidas e desfolhantes.

O uso do dióxido de cloro na desinfecção de água para consumo humano foi relatado pela primeira vez em 1944, na cidade de Niágara, EUA. Porém, esse uso ainda é relativamente restrito (ao menos se comparado ao cloro), devido à necessidade de produção *in loco*, bem como ao maior custo e complexidade operacional. Entretanto, há referências a mais de mil estações de tratamento de água em todo o mundo que empregam o dióxido de cloro como desinfetante (DI BERNARD & DANTAS, 2005).

Pode-se destacar que o dióxido de cloro reage com diversos compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água, formando, preponderantemente, clorito e clorato. Na ausência de cloro, o dióxido de cloro não forma trihalometanos e ácidos haloacéticos e, por ser um oxidante potente e seletivo, pode inclusive ser utilizado na pré-oxidação de precursores da formação desses subprodutos quando o cloro é utilizado como desinfetante. Pode ainda ser utilizado na oxidação de ferro e manganês e é bastante efetivo no controle de compostos fenólicos causadores de gosto e odor. No uso de dióxido de cloro para pré-oxidação, a *Environmental Protection Agency* - EPA (1993) recomenda que a aplicação seja feita em água decantada ou na água bruta, desde que a turbidez seja inferior a 10 uT (USEPA, 1999).

Porém, a formação de clorito e clorato é inerente às reações de dióxido na água e esses subprodutos apresentam potencial tóxico, principalmente o primeiro. Como em geral, são estabelecidas concentrações máximas de clorito (e

por vezes de clorato) na água fornecida para consumo humano, isso limita as doses de dióxido de cloro possíveis de serem aplicadas. Portanto, quando do uso de dióxido de cloro como desinfetante primário, é necessário que se determine a demanda desse oxidante exercida pela água.

O dióxido de cloro disponibiliza residuais desinfetantes mais instáveis no sistema de distribuição do que os residuais de cloro e isso pode limitar seu uso como desinfetante secundário, muito embora alguns estudos demonstrem que seja possível a manutenção de residuais estáveis e adequados.

Por sua vez, a manutenção de residuais mais elevados é limitada por problemas de gosto e odor, sendo o limiar de percepção em torno de 0,4 a 0,5 mg/L de  $\text{ClO}_2$ . Por isso, no entendimento da EPA (1993), dadas as dificuldades de manutenção de residuais nas redes de distribuição, a aplicação de dióxido de cloro acaba se limitando a sistemas de menor porte (com tempo residência inferior a 48 h) e, ou, em águas de baixos teores de COT, embora se reconheça que em águas com baixa demanda de oxidantes, residuais de dióxido de cloro possam se manter estáveis por tempos prolongados (USEPA, 1999).

Por outro lado, a associação de dióxido de cloro e cloro, como desinfetante primário e secundário, pode levar à oxidação do dióxido de cloro em clorato pela ação do cloro livre. Além disso, a regeneração de dióxido de cloro a partir de clorito pode ocorrer na rede de distribuição, diretamente ou indiretamente por reações com ácido hipocloroso. Por tudo isso, sugere-se que a associação do dióxido de cloro com cloraminas como desinfetante secundário seja preferível (USEPA, 1999).

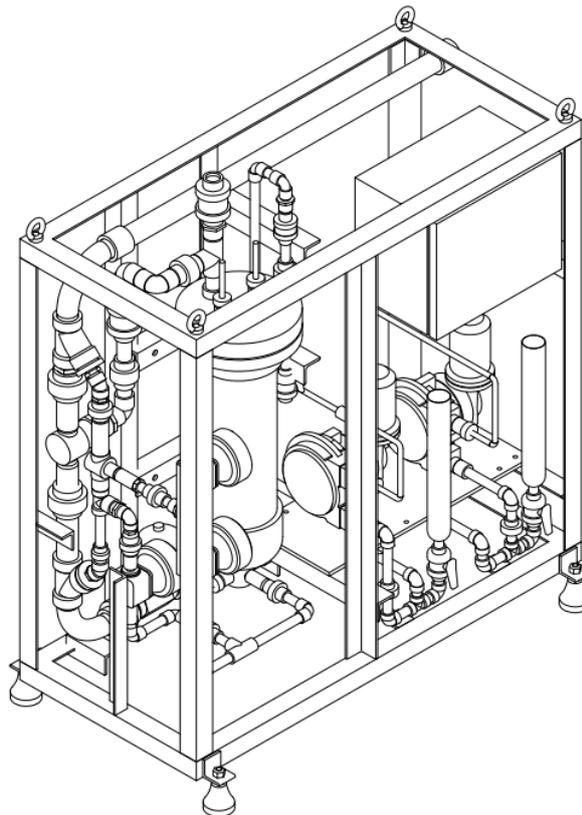
Nos EUA, dosagens típicas de dióxido de cloro para tratamento de água limitam-se a 2 mg/L, com geração de clorito e clorato em torno de 0,2 mg/L. Na Austrália, os residuais de clorito são mantidos entre 0,2 e 0,4 mg/L (USEPA, 1999).

Por fim, não se pode deixar de registrar como desvantagens o fato de que o dióxido de cloro não pode ser transportado e ter que ser gerado *in loco*, além dos custos e complexidade operacional mais elevado em relação ao uso do cloro (USEPA, 1999).

### 3.7.3 Gerador de dióxido de cloro disponibilizado pela Sabará Químicos do Brasil S.A.

A Sabará Químicos do Brasil S.A. disponibilizou dois geradores de dióxido de cloro com capacidade de produção de 6 kg/h cada, com 95% de rendimento na produção de dióxido, com mecanismos de redundância e proteção contra acúmulo de gás de dióxido na câmara interna do gerador, de modo a evitar risco de explosão pela instabilidade do gás nas condições normais de temperatura e pressão, além de configuração de alarmes. Ressalta-se que esses equipamentos foram operados na condição (1+1), eles utilizam como insumos básicos a mistura de ácido clorídrico e clorito de sódio, conforme Figura 07.

**Figura 07 – Desenho do gerador de dióxido de cloro utilizado no Estudo de Caso na ETA Rio Descoberto**



Fonte: Sabará Químicos do Brasil (2018).

## **4. ESTUDO DE CASO**

### **4.1 Descrição do Sistema de Abastecimento de Água do Rio Descoberto**

O sistema Produtor do Rio Descoberto é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 61,5% da população do Distrito Federal, cerca de 2,3 milhões de habitantes. É composto pela captação de água bruta do Lago do Rio Descoberto, elevatória de água bruta, adutoras de recalque de água bruta, a Estação de Tratamento de Água do Rio Descoberto, 07 Elevatórias de Água Tratada, 14 Reservatórios Apoiados, 06 Reservatórios Elevados e 01 Reservatório de Equalização.

#### **4.1.1 Barragem do Lago Descoberto**

O barramento do Rio Descoberto (Figura 08) proporcionou a formação do Lago Descoberto que está localizado na divisa DF/GO. A barragem de concreto, do tipo gravidade, foi construída entre 1971 e 1973 sendo que o paredão de concreto foi concluído em 1973 e tem extensão de 252 metros com vertedouro de 55 metros e altura máxima de 33 metros. A tomada d'água é através de duas comportas medindo 2,0 x 2,0 metros, posicionadas nas cotas 1.018 (9 metros da superfície da água) e 1.025 metros (16 metros da superfície da água), respectivamente. A descarga de fundo é posicionada na cota 1.008 metros, também medindo 2,0 x 2,0 metros. O nível operacional mínimo da barragem é na cota 1.020 metros. O enchimento do reservatório ocorreu em 1974, ocupando uma área inundada da ordem de 14,4 km<sup>2</sup>, considerando a cota do vertedouro de 1.030 metros. A sua área de drenagem cobre 437 km<sup>2</sup>, com volume estimado em 120 bilhões de litros de água, com profundidade média de 7 metros.

**Figura 08 – Vista área do barramento do Lago Descoberto**



Fonte: PSA – Sistema Rio Descoberto Caesb (2018).

#### **4.1.2 Elevatória de Água Bruta Rio Descoberto**

A Elevatória de Água Bruta do Rio Descoberto foi inaugurada em 08 de fevereiro de 1979, com potência instalada de 22.000 HP. Atualmente, após montagem de novos motores, opera com 27.500 HP, com potência instalada de 44.000 HP. A vazão média bombeada é de 4.475 L/s (2016), consumindo aproximadamente 9.000 MWh/ mês. O fornecimento de energia é realizado pela Companhia Energética de Brasília, por meio de duas linhas de alta tensão de 138.000 Volts, que alimentam a subestação, a qual rebaixa esta tensão para 13.800 Volts, através de dois transformadores de 15/20 MVA cada um (PSA, 2018).

Estão instalados nesta unidade cinco conjuntos de bombeamento, dois de 5.500 HP e três de 11.000 HP que bombeiam água a 242 metros de altura.

A água bruta é transportada da Elevatória até a Estação de Tratamento de Água do Rio Descoberto, por duas adutoras, com as seguintes características:

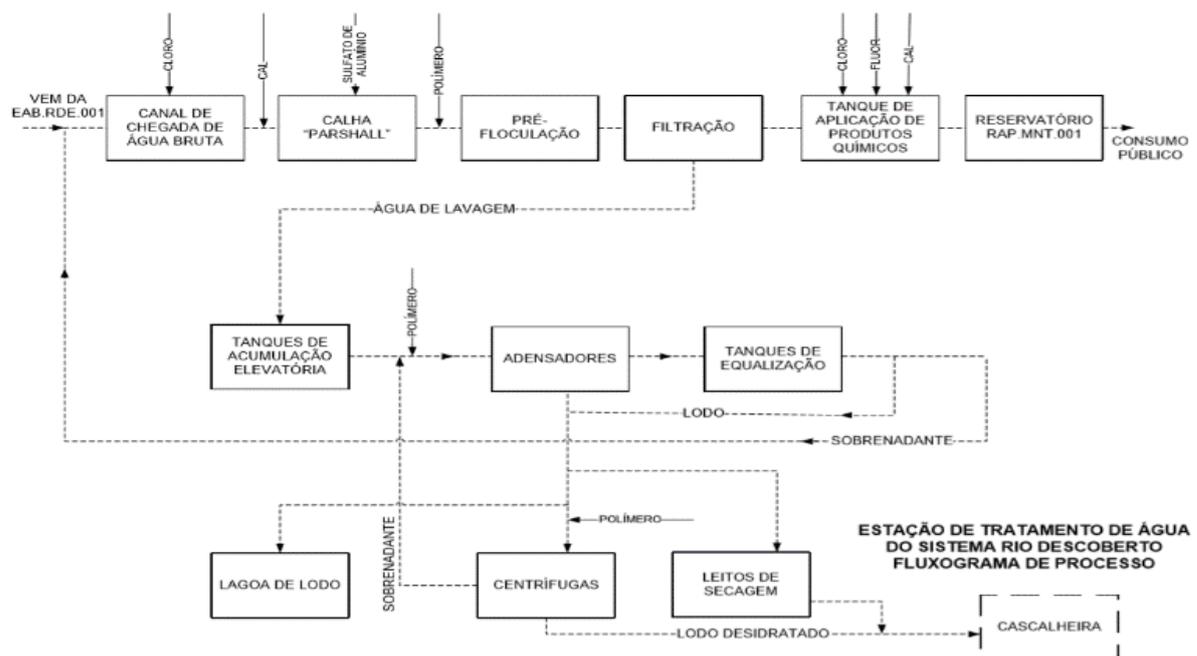
- Material: Aço.
- Diâmetro: 1.219 mm;
- Extensão: 14.400 metros;
- Altura manométrica: 280 mca

Para suas proteções, as duas adutoras e a elevatória contam com quatro reservatórios unidirecionais (*One Ways*) e sete tanques bidirecionais (TB).

#### 4.1.3 Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto

A Estação de Tratamento de Água do Rio Descoberto foi inaugurada em 07 de fevereiro de 1986, com capacidade de 4.000 L/s, operando com uma vazão média de 2.380 L/s. Em dezembro de 1996, com a ampliação da unidade, a capacidade foi aumentada para 6.000 L/s. Até o ano de 2016, a ETA operava com uma vazão média de 4.475 L/s, abastecendo cerca de 61,5% da população do DF. O processo de tratamento empregado na unidade é do tipo filtração direta descendente (**FDD**), com as seguintes etapas e fluxograma (Figura 09).

Figura 09 – Fluxograma das etapas de tratamento de água – ETA Rio Descoberto



Fonte: Autor (2018).

- **Pré-Cloração/Pré-Alcalinização:** A água bruta, proveniente do lago Descoberto, chega à caixa de entrada de água através de duas adutoras de 1.200 mm de diâmetro. Nesta caixa, eventualmente são adicionados dosagem de cloro gasoso, para pré-oxidação da matéria orgânica ou solução da cal virgem, para ajuste

do pH de coagulação. Atualmente, a faixa ótima do pH de coagulação encontra-se entre 6,0 e 7,1. Em função da verificação da presença de algas do tipo cianofíceas na biota do Lago Descoberto, a pré-cloração tem sido evitada como processo para redução de sua concentração.

- **Mistura rápida e coagulação:** Após a pré-alkalinização, a água chega ao vertedouro tipo Parshall, onde é realizada a medição da vazão de água bruta e a dosagem do coagulante primário. Na ETA do Rio Descoberto, pode-se utilizar o Sulfato de Alumínio ou Cloreto de Polialumínio (PAC) como coagulantes. Ambos os sistemas são controlados via lógica de programação (CLP), com ajustes automáticos na vazão de dosagem, conforme a variação da vazão de água bruta. As dosagens médias de sulfato de alumínio e o PAC encontram-se na faixa de 2,00 a 5,00 mg/L e 1,50 a 2,50 mg/L, respectivamente. A unidade possui capacidade de armazenamento de sulfato de alumínio de 60 ton. e PAC 30 ton.

A escolha na utilização entre um ou outro coagulante se deve às características da água bruta do Lago do Descoberto, que no período de chuvas apresenta variações na turbidez. A otimização na dosagem de coagulante e definição do pH de coagulação é realizado por meio do ensaio de jarros semanalmente ou quando da observação de bruscas mudanças na qualidade da água bruta.

- **Dosagem de auxiliar de floculação:** A ETA Rio Descoberto possui sistema completo com controle lógico automático para dosagem de auxiliar de floculação, cuja calha de dosagem é localizada no canal de água coagulada, logo após o vertedouro Parshall. Utiliza-se esse sistema quando ocorre a elevação da turbidez de modo a proporcionar o aumento do peso do floco formado e a sua resistência quanto à quebra. Na ETA utiliza-se o polímero aniônico de média carga, com dosagem média da ordem de 0,03 mg/L.

- **Floculação:** A floculação visa aglomerar as partículas em suspensão presentes na água coagulada, que será submetida ao processo de filtração. A ETA possui dois tanques de floculação, divididos nos dois canais: lado par e ímpar. Cada floculador possui na sua estrutura quatro compartimentos de floculação em série. O tempo de floculação para vazão de água bruta de 5.800 L/s é de 7 minutos. As câmaras possuem agitadores eletromecânicos, tipo turbina de fluxo axial, com ajuste

de rotação e gradiente de velocidade entre 50 a 100 s<sup>-1</sup>, controlados por inversores de frequência.

- **Filtração:** O sistema de filtração é constituído de 14 filtros rápidos descendentes, com 100 m<sup>2</sup> de área e taxa de filtração de 370,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, dividido em duas câmaras cada unidade. Possuem leito filtrante composto por camada suporte de pedregulho com altura de 52 cm, areia com diâmetro efetivo 1,2 mm e altura média de 1,20 metros. Para a operação dos filtros é estabelecida uma carreira de filtração em função da qualidade da água bruta, sendo que os filtros são lavados sempre que o período de operação atinge o valor final da carreira de filtração determinada ou quando verificada o transpasse da turbidez da água filtrada. O processo de lavagem é realizada automaticamente, por controle lógico programável, sentido contracorrente com ar dissolvido e água filtrada. O volume médio de água utilizada numa lavagem é de aproximadamente 1,2 milhão de litros de água para cada operação. O fluxo de água contracorrente na lavagem é de 1 metro/min. A água utilizada na lavagem é direcionada para o reservatório de recuperação de água de lavagem (SRAL) e todos os filtros contam com controle da água filtrada por turbidímetros contínuos.

- **Tanque de contato:** Para acondicionamento final da água tratada, a ETA do Rio Descoberto possui o TAPQ (Tanque de Aplicação de Produtos Químicos), onde são aplicadas as dosagens de cloro gasoso para desinfecção, ácido fluossilícico para prevenção de cáries dentária e solução de cal para correção de pH. Esse reservatório é composto por chicanas hidráulicas de modo a manter o gradiente de mistura adequados às condições de operação e possui tempo de detenção de aproximadamente 4,5 min, considerando vazão de 6.000 L/s.

- **Desinfecção:** A ETA Rio Descoberto utiliza-se de gás cloro para o processo de desinfecção da água filtrada. A unidade de cloração é alimentada por processo de evaporação de cloro líquido a partir da utilização de carretas tanques (19.000 kg). A substituição e o monitoramento da troca das carretas são realizados automaticamente, bem como o controle de residual de cloro livre no TAPQ, por meio de analisadores contínuos. A dosagem média de cloro gasoso é de 2,0 mg/L.

- **Fluoretação:** Neste processo é aplicado um composto à base de flúor com objetivo de reduzir a incidência da cárie dentária na população, conforme determinação legal. A ETA Rio Descoberto utiliza o ácido fluossilícico concentrado,

dosado por bombas do tipo peristálticas, com vazão de dosagem entre 18 a 60 L/h. O nível de residual de flúor na saída do tratamento varia na faixa entre 0,60 a 1,00 mg/L.

- **Correção de pH Final:** O abrandamento da água tratada na ETA Rio Descoberto é realizado por meio de solução de cal, com a utilização de equipamentos que realizam a extinção da Cal Virgem. A Cal Virgem é armazenada em containers de 750 kg, no qual são dosadas, extintas e removidas as impurezas através da queima da cal utilizando água tratada. A solução da cal é dosada por bombas de deslocamento positivo até o TAPQ. A faixa de controle do pH da água tratada encontra-se entre 6,0 a 7,5.

- **Sistema de Recuperação de Água de Lavagem:** A ETA Rio Descoberto realiza o reaproveitamento da água de lavagem dos filtros, tendo em vista a questão ambiental esta ligada ao controle da poluição da bacia do Rio Descoberto e a aspecto econômico, já que o sistema permite o aproveitamento de cerca de quatorze milhões de litros de água por dia, volume suficiente para abastecer uma cidade de aproximadamente 55.000 habitantes.

A água de lavagem dos filtros é coletada e segue para um reservatório de acumulação de água de lavagem (SRAL), sendo então recalçada para dois adensadores circulares, onde o adensamento do lodo por sedimentação ocorre a uma taxa de aplicação de 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, com aplicação de polímero aniônico. O sobrenadante, que é a água clarificada, é recolhido e acumulado em dois tanques de equalização, sendo enviado para a caixa de chegada de água bruta da ETA Rio Descoberto, a uma taxa não superior a 5% de vazão de água bruta.

O lodo adensado é descarregado para dois poços de acumulação de lodo, sendo pré-condicionado em linha, com polímero aniônico, e desidratado em duas centrífugas, com capacidades de 23 m<sup>3</sup>/h e de 8 m<sup>3</sup>/h, respectivamente.

A torta ou lodo desaguado, com teor médio de sólidos de 30%, obtida na desidratação, é destinado a recuperação de uma cascalheira desativada localizada na Região Administrativa de Ceilândia (QNP 05, conforme Licença de Operação nº 029/2013-IBRAM renovação da LO 020/2008) (SEMARH-DF). Em caso de problema na unidade de desidratação de lodo, o lodo decantado pode ser descarregado para uma lagoa de lodo de emergência, com capacidade de 6.000 m<sup>3</sup> de lodo, revestida em geomembrana, situada próxima aos adensadores.

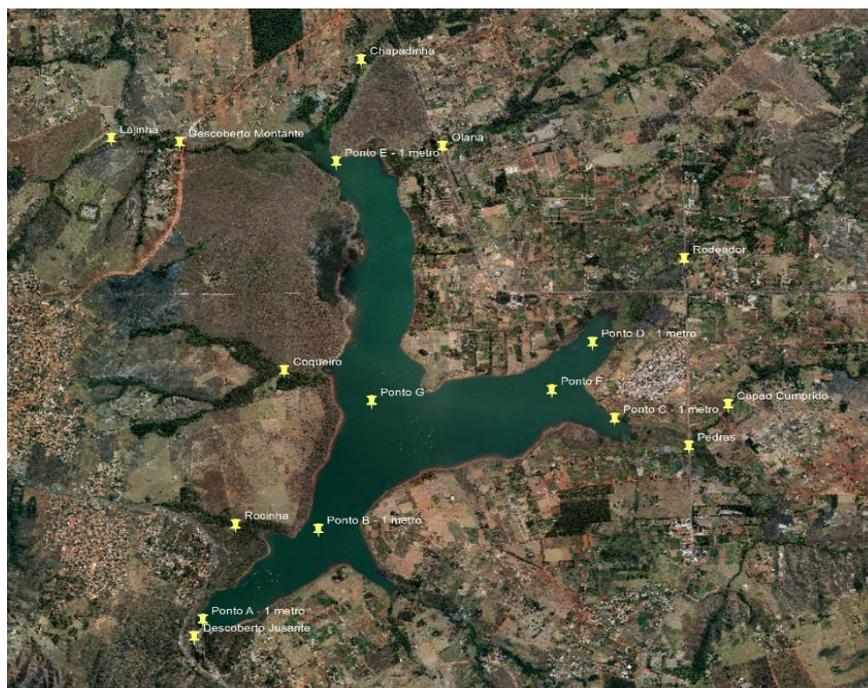
## 4.2 Evolução da densidade de algas e cianobactérias no Lago Descoberto

A Caesb realiza diversos programas de amostragem no Lago Descoberto, operação esta iniciada em 1976. O programa destaca a abordagem limnológica, com frequência mensal, sendo amostrado um perfil incluindo coletas na superfície, a 1m, a 5m, a 10 m, a 15 m e a 20 m, assim como nos pontos de captação a 9 m e a 16 m, cotas 1.018 e 1.025 metros. Trimestralmente são amostrados pontos ao longo do reservatório, a 1 metro de profundidade, para avaliação limnológica de caráter espacial do ecossistema. Esses dados de qualidade da água são complementados por medições de vazão dos principais cursos d'água afluentes.

Em 2007, o monitoramento foi ampliado para cumprimento da LO 281/2002 - IBAMA e foi criado o programa Licenciamento do Lago Descoberto e tributários, com frequência semestral, sendo 5 pontos amostrados no lago, na profundidade de 1 metro (Figura 10) e na foz dos principais tributários.

Os principais tributários monitorados são: Descoberto Montante chácara 89, Chapadinha, Rodeador, Ribeirão das Pedras DF 180, Coqueiro braço direito, Coqueiro braço esquerdo, Lajinha montante e Rocinha-Engenho Queimado, Olaria e Capão Cumprido, além do Descoberto jusante.

**Figura 10 – Pontos de monitoramento do Lago Descoberto e principais tributários**



O Lago Descoberto é um ecossistema lacustre, artificial, oligotrófico e tem em sua qualidade da água monitorada pela Caesb desde 1976. Durante as décadas de 1980, 1990 e 2000, a abundância total do fitoplâncton, nas proximidades do ponto de captação na barragem, se manteve sempre baixa, refletindo-se em uma biomassa algal total (expressa como clorofila-a) a 1 metro de profundidade, abaixo de 10 µg/L, com média de longo prazo (de 1977 a 2010) igual a 2 µg/L (CAMBRAIA, 2011).

A partir do início desta década, no entanto, foram evidenciadas aumento substanciais de algas cianobactérias picoplanctônicas, conforme informado por Dias & Cavalcanti (2012). Verificou-se picos de densidades numéricas totais do fitoplâncton no ponto de tomada d'água de 9 m, da ordem de 4.827.750 Ind./L em outubro de 2010, de 2.095.950 Ind./L em outubro de 2011 e de 10.258.630 Ind./L em outubro de 2012, tendo como referência valores usuais de contagem da ordem de 300 a 500.000 Ind./L ao longo dos outros meses destes mesmos anos. Nos anos subsequentes, este padrão geral se manteve, tendo sido observados valores de 3.642.400 Ind./L em outubro de 2013, 3.801.820 Ind./L em novembro de 2014, 5.251.650 Ind./L em outubro de 2015 e de 3.140.000 Ind./L em setembro de 2016 (dados do monitoramento da PGO não publicados).

Esses aumentos do fitoplâncton supracitadas ocorreram na mesma época do ano, ou seja, entre setembro e novembro, no final da estação seca entrando na transição para a chuvosa, logo após o término do período de circulação e mistura completa da coluna d'água deste reservatório monomítico quente, processo que ocorre todo ano na época do frio, entre maio e agosto. A ressuspensão dos nutrientes de fundo em toda coluna d'água a partir da circulação, promovendo uma maior oferta de fósforo na zona eufótica justamente no período de maior insolação e menor volume do reservatório (setembro a novembro) favorecem o crescimento fitoplanctônico, especialmente as cianobactérias.

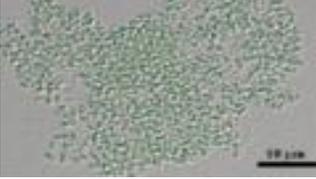
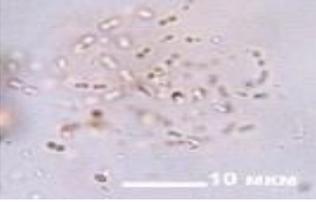
No tocante as cianobactérias, de especial importância para saúde pública tendo em vista a possibilidade de produzirem toxinas, observou-se também um padrão similar, com as maiores elevações numéricas ocorrendo entre setembro e novembro, coincidindo com o período pós-circulação. As maiores contagens de cianobactérias do picoplâncton, ocorreram no mês de outubro de 2010 (101.238 Cél/ml), outubro de 2011 (35.584 Cél /ml) e outubro de 2012 (144.668 Cél /ml)

segundo o relatório de Dias & Cavalcanti (2012), e nos anos subsequentes em outubro de 2013 (83.210 Cél /ml), outubro de 2014 (44.329 Cél /ml), outubro de 2015 (77.213 Cél /ml) e setembro de 2016 (15.221 Cél /ml). Cabe registrar que o limite estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 05, Anexo XX, do Ministério da Saúde, de 28 de setembro de 2017, é de 20.000 Cél /ml, como exigência para a realização de análise semanal de cianotoxinas na água do manancial.

Tendo em vista esse marco legal, em outubro de 2010, foi realizada, por um laboratório externo contratado pela Caesb, análise de microcistinas na água bruta da ETA Rio Descoberto e não foram encontrados valores detectáveis dessas toxinas na amostra. Após alguns testes realizados pelo laboratório de Hidrobiologia da Caesb, com amostras de água do ponto de captação do Reservatório do Descoberto, verificou-se que as concentrações de microcistina observadas nas amostras de outubro e novembro de 2012 estavam abaixo do limite de detecção do método, ou seja, menor que 0,147 µg/L (DIAS & CAVALCANTI, 2012).

Os gêneros predominantes que compuseram as amostras analisadas no trabalho supracitado estão no Quadro 07.

**Quadro 07 – Principais gêneros de cianobactérias presentes no Lago  
Descoberto**

Gênero	Imagem
<i>Aphanocapsa sp.</i>	
<i>Aphanotece sp.</i>	
<i>Merismopedia sp.</i>	
<i>Planktolyngbya sp</i>	
<i>Cyanodcfyon sp</i>	

Fonte de todas as imagens: <https://int.search.tb.ask.com/search> (26/10/2018).

Cabe ressaltar que a maioria desses gêneros de cianobactérias encontrados nas amostras do Reservatório Descoberto pertence à porção do

fitoplâncton denominada picoplâncton, ou seja, o tamanho das células dessas cianobactérias é menor que 2,0  $\mu\text{m}$ , contribuindo, portanto, com uma baixa biomassa algal para o ecossistema.

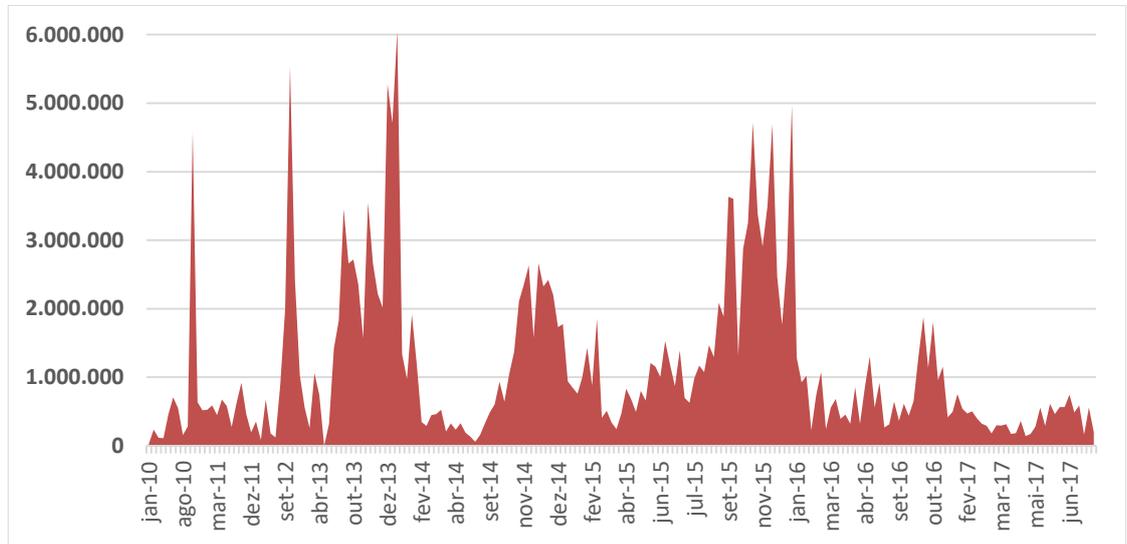
### **4.3 Diagnóstico da Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto**

A Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto apresenta-se com diversas dificuldades operacionais em virtude das mudanças drásticas no cenário na qual está inserida, fazendo com que opere com parâmetros bem diferentes da sua inauguração. Um exemplo disso é a mudança gradual no uso e ocupação do solo ao redor da barragem do Rio Descoberto, que passou a apresentar pontos com alta carga de sedimentos, os quais comprometem, não só a capacidade de armazenagem do lago, mas também a qualidade da água bruta captável. Também houve alteração da biota do lago com aumento da população de fitoplâncton e cianobactérias, que influenciam negativamente no processo de tratamento da ETA Rio Descoberto, por sobrecarregar o sistema de filtração além de exigir maior atenção e monitoramento quanto à liberação de possíveis toxinas na água.

Ressalta-se que o tipo de processo utilizado na ETA Rio Descoberto é a filtração direta descendente (FDD).

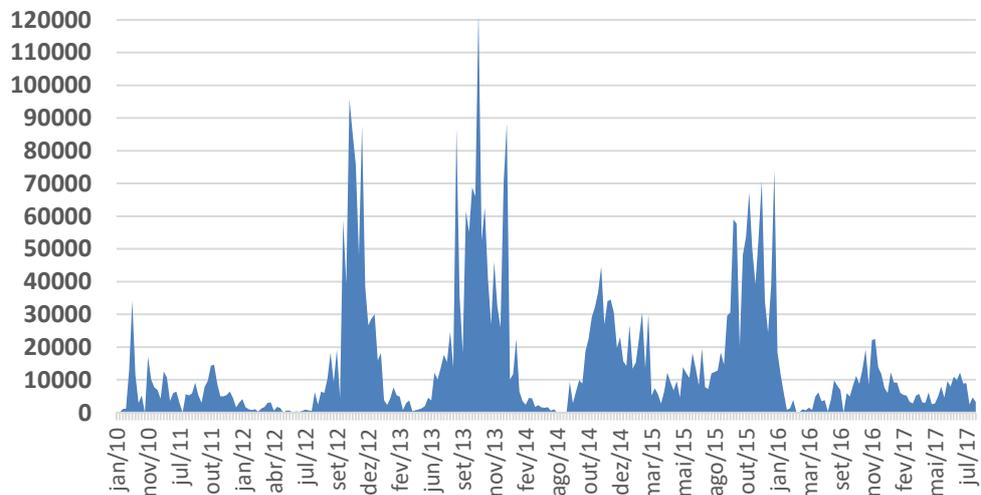
As análises laboratoriais resultantes da rotina de monitoramento de mananciais, realizadas pelo Laboratório Central da Caesb, também detectaram aumento populacional de algas na barragem do Descoberto a partir de 2010. A densidade total de células de cianobactérias (Cél/mL) encontradas nas amostras dos pontos de captação (9 e 16 m) do Reservatório do Descoberto, que pode ser observada na Figura 12, é de até 95 mil Cél /mL. Os dados de biomassa fitoplanctônica, por sua vez, estão dispostos na Figura 11, apresentando picos em torno de 1 milhão de Ind/L na época de estiagem.

**Figura 11 – Evolução de Biomassa fitoplanctônica (Ind./L) – Lago Descoberto**



Fonte: Caesb (2017).

**Figura 12 – Contagem de cianobactérias (Cél/ ml) no Lago Descoberto**



Fonte: Caesb (2017).

Após a ampliação da ETA Rio Descoberto, com o passar dos anos, houve um decréscimo da qualidade da água bruta do manancial, conforme reportado anteriormente, com isso verificou-se uma sensível redução da carreira de filtração. Para efeito comparativo, inicialmente trabalhava-se com carreiras médias da ordem de 24 horas, chegando-se em determinados períodos a operar filtros com 30 horas, entre lavagens. Atualmente, observa-se uma colmatação excessiva dos filtros em

razão da maior quantidade de sólidos suspensos e do aumento na concentração de fitoplâncton na barragem de captação do Rio Descoberto. Isso tem provocado uma redução das carreiras de filtração, chegando a determinados períodos há 10 horas, não sendo rara operar-se com carreiras de 12 horas, mesmo em períodos considerados mais favoráveis. Este fato associado à operação da ETA com a vazão máxima de bombeamento na EAB Descoberto, vez por outra tem acarretado, a necessidade de abertura parcial do by-pass da unidade, comprometendo por fim, a qualidade da água produzida, sem contar que, um maior número de lavagem dos filtros, necessariamente implica em maior gasto de água para lavagem, ocasionando maiores consumos de energia e de outros insumos de processo.

A ETA Rio Descoberto faz o reaproveitamento da água de lavagem dos filtros, tendo em vista à questão ambiental, ligada ao controle da poluição da bacia do Rio Descoberto, e ao aspecto econômico, já que o sistema tem recuperado cerca de 28 milhões de litros por dia. Tal número vultuoso, se por um lado representa um orgulho para a Companhia face a eliminação de desperdício de quantidade significativa da água captada, por outro lado, tem sido mais um gargalo para o tratamento, pois essa água antes de retornar para a ETA passa por todo um sistema que envolve também o tratamento do lodo. E tal volume tem acarretado numa diminuição do tempo de adensamento desse lodo, já que os adensadores e equalizadores não foram dimensionados para o aporte desse volume de água, que, por sua vez, pode provocar um aumento da turbidez da água de chegada na ETA, devido ao retorno do sistema de recuperação da água de lavagem dos filtros, dificultando ainda mais o processo de tratamento da água, já que promove picos de turbidez da água bruta.

Frente aos fatos expostos, verifica-se que é importante a avaliação de alternativas que possam promover o aumento da carreira de filtração, redução dos níveis de turbidez da água filtrada, redução do consumo de água de lavagem, otimização da coagulação e floculação pela redução de carga orgânica na água bruta, que tem provocado a colmatação do sistema de filtros, única barreira existente para sedimentos na FDD, com a possibilidade da utilização de pré-oxidação de microalgas e cianobactérias com aplicação de tecnologias que reduzam os riscos de lise celular ou a formação de subprodutos da desinfecção, como por exemplo, a aplicação de dióxido de cloro.

## 5. METODOLOGIA

A princípio para viabilizar a realização do estudo de caso, fez-se levantamento de diagnóstico da ETA Rio Descoberto, através do acesso a relatórios da própria área operacional, revisão bibliográfica e sondagem de campo, que reforçaram a dificuldade de manutenção operacional do sistema de filtros com carreira de filtração superior a 11 horas e necessidade de manobras sistemáticas de *by pass* parcial da água bruta, principalmente para vazões superiores a 3,8 m<sup>3</sup>/s, considerando o cenário de densidade de algas em torno de 900.000 Ind/L e cianobactérias em 10.000 Cél/ mL.

Tendo em vista que o autor deste trabalho faz parte do quadro de servidores da Caesb, o mesmo junto aos seus superiores apresentou a sugestão de aumento da carreira de filtração da ETA Rio Descoberto com o uso de dióxido de cloro como pré-oxidante, visto que esse produto químico gera baixo índice de subprodutos de desinfecção comparado com o gás cloro, além de ser mais efetivo nos processos de oxidação em curto período de contato. Tendo sido aprovada a proposta do autor do trabalho, foi firmada por meio da Superintendência de Operação e Produção de Água (PPA) e da Gerência de Produção Sul (PPAS), uma parceria com a empresa Sabará Químicos do Brasil S.A., com o fim de desenvolver um projeto para utilização do dióxido de cloro como pré-oxidante na planta. Assim, seguiram-se os seguintes passos para definição da Metodologia apresentada:

- Apresentação de um cronograma de ensaios de jarros no laboratório da Caesb, com uso dos pré-oxidantes dióxido de cloro e hipoclorito de sódio. Esses ensaios foram realizados a fim de validar primariamente o uso do pré-oxidante para que posteriormente pudesse ser utilizado em escala real na ETA Rio Descoberto.;

- Determinação dos critérios de operação da ETA Rio descoberto, de modo a evitar prejuízos significativos nos resultados da qualidade da água tratada, como:

- Tempo de carreira do sistema de filtração  $\geq 23$  horas;
- Nível do canal de água coagulada entre 1.600 e 1.900 mm;
- Efluente final com turbidez  $\leq 0,5$  uT;
- Remoção de fito/ ciano  $\geq 95\%$ ;
- Residual de trialometano total  $\leq 0,1$  mg/L;
- Residual de clorito  $\leq 1,0$  mg/L.

▪ Além do monitoramento dos parâmetros operacionais acima, foi definida a estratégia operacional para a operação da ETA Rio Descoberto durante os testes:

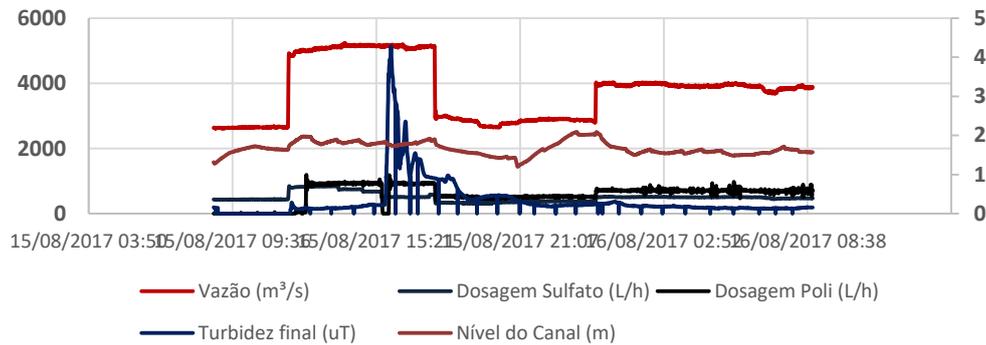
- Manutenção do mesmo coagulante primário e o auxiliar de floculação;
- Aplicação de dosagem constante de dióxido de cloro da ordem de 0,3 mg/L;
- Coletas diárias (intervalo de 12 horas) de amostras para análise residual de THM Total na água tratada;
- Coleta semanal, sempre às quartas-feiras, de amostra para fito/ciano na água tratada;
- As taxas de filtração experimentadas permaneceram constantes por cinco dias consecutivos (na média), desde que não comprometessem o nível do canal de água coagulada;
- Para a manutenção das taxas constantes, foram retirados filtros de operação de acordo com a vazão de água bruta aduzida, conforme Quadro 08;
- O monitoramento dos parâmetros operacionais foi realizado via supervisor da ETA Rio Descoberto (Figura 13) e Formulário de Operação dos Filtros.

**Quadro 08 – Vazões de água bruta aduzida (m<sup>3</sup>/s) x Taxas de Filtração (m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.dia)**

Vazões / Taxas	2,8 m <sup>3</sup> /s	3,9 m <sup>3</sup> /s	4,9 m <sup>3</sup> /s
208	12	-	-
230	11	14	-
280	9	12	-
305	8	11	14
330	7	10	13

Fonte: Autor (2017).

**Figura 13 – Parâmetros de controle via supervisório da ETA Rio Descoberto**



Fonte: Autor (2017).

▪ Após a definição dos critérios operacionais, foram realizadas as seguintes fases:

➢ Planejamento, dimensionamento, montagem dos geradores de dióxido de cloro, os silos de estocagem de químicos para a operação do sistema na ETA Rio Descoberto, com previsibilidade de estudo para 40 dias, 24 horas de operação contínua e monitoramento remoto, conforme imagens na Figura 14.

**Figura 14 – Instalações de dióxido de cloro na área da ETA Rio Descoberto**



a) Containers para armazenagem de químicos.



b) Instalações eletromecânicas realizadas.



c) Geradores de dióxido de cloro (1+1).



d) Ponto de aplicação na chegada d'água bruta.

Fonte: Autor (2017).

▪ Por fim, apresentação e avaliação dos resultados.

## 6. APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Conforme relatado na Metodologia, entre os dias 17/10/2016 e 18/10/2016, no laboratório do sistema de desidratação de lodo da ETA Rio Descoberto, foram realizados dois ensaios de jarros, com a aplicação de dióxido de cloro e hipoclorito de sódio como pré-oxidantes. Os resultados de turbidez e residual de teor de cloro nas amostras de água filtrada, mais próximos dos resultados alcançados na ETA, foram encaminhados ao Laboratório de Hidrobiologia da Caesb, para análises dos parâmetros trihalometano total, saxitoxina e microcistina. Para as amostras de água bruta e filtrada, foram realizadas análises de contagem fitoplâncton e cianobactérias. Esses resultados se encontram sumarizados nas Figuras 15 e 16.

Após disponibilização dos resultados pelo Laboratório de Hidrobiologia, pode-se avaliar que o estudo de caso se apresentava com boas perspectivas positivas, tendo em vista que os residuais de trihalometano total, microcistina e saxitoxina, para amostras de água filtrada, foram abaixo do limite de detecção do método de análise realizado. Também foram observadas ótimas taxas de remoção, acima de 97%, para fito como para ciano entre densidades de água bruta e filtrada. Registra-se, pela acentuada redução no pH de coagulação nos ensaios de jarros, influenciado pelas dosagens de pré-oxidantes, a necessidade, a ser verificada em planta, de se aplicar pré-alcalinizante para otimizar os resultados de turbidez da água filtrada, visto que o obtido foi de aproximadamente 0,7 uT, enquanto na ETA, verificava-se turbidez da ordem de 0,4 uT.

Figura 15 – Ensaio de jarros com uso de hipoclorito de sódio como pré-oxidante

	ENSAIOS DE JARROS - ESTUDOS DE TRATABILIDADE - ETA RIO DESCOBERTO						DATA:	HORA:	
	ROTINA						17/10/2016	14h55	
DADOS GERAIS DA ÁGUA BRUTA				DADOS GERAIS DO ENSAIO					
pH	ALCALINIDADE	COR	TURBIDEZ	TEMPO DE AGITAÇÃO RÁPIDA (300RPM): <b>00 segundos</b>	TEMPO DE AGITAÇÃO LENTA (70RPM): <b>07 minutos</b>	OXIDANTE	COAGULANTE	ALCALINIZANTE	
6,5	7	20	12,6			<b>Hipoclorito de Sódio</b>	<b>Sulfato de Alumínio</b>	-	
JARROS	01	02	03	04	05	06	CANALETA	RESPONSÁVEL	
Dosagem de Oxidante (mg/L)	0,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	OBSERVAÇÕES: Contagem de Fito na Água Bruta: 714.350 Ind/L. Contagem de Ciano na Água Bruta: 11.053 Cél/mL.		
Dosagem de Pré-alcalinizante (mg/L)	0	0	0	0	0	0			
Dosagem de coagulante (mg/L)	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1			
Dosagem de Aux-coagulação (mg/L)	0	0	0	0	0	0			
RESULTADOS									
Turbidez Filtrada (uT)	0,71	0,40	0,39	0,33	0,41	0,38			
pH	6,89	6,60	6,59	6,60	6,60	6,60			
Contagem de Fito (Ind/L)	7.860 (98,9%)	7.860 (98,9%)	-	-	15.720 (97,9%)	-			
Contagem de Cél. Cianobactérias	94 (99,1%)	94 (99,1%)	-	-	189 (98,3%)	-			
Cloro Residual (mg/L)	0	0,07	0,01	0,03	0,01	0,05			
THM (mg/L)	< 0,001	0,005	-	-	0,007	-			
Microsistina (ug/L)	<0,2	<0,2	-	-	<0,2	-			
Saxitoxina (ug/L)	-	-	-	-	-	-			

Fonte: Autor (2016).

Figura 16 – Ensaio de jarros com uso de dióxido de cloro como pré-oxidante

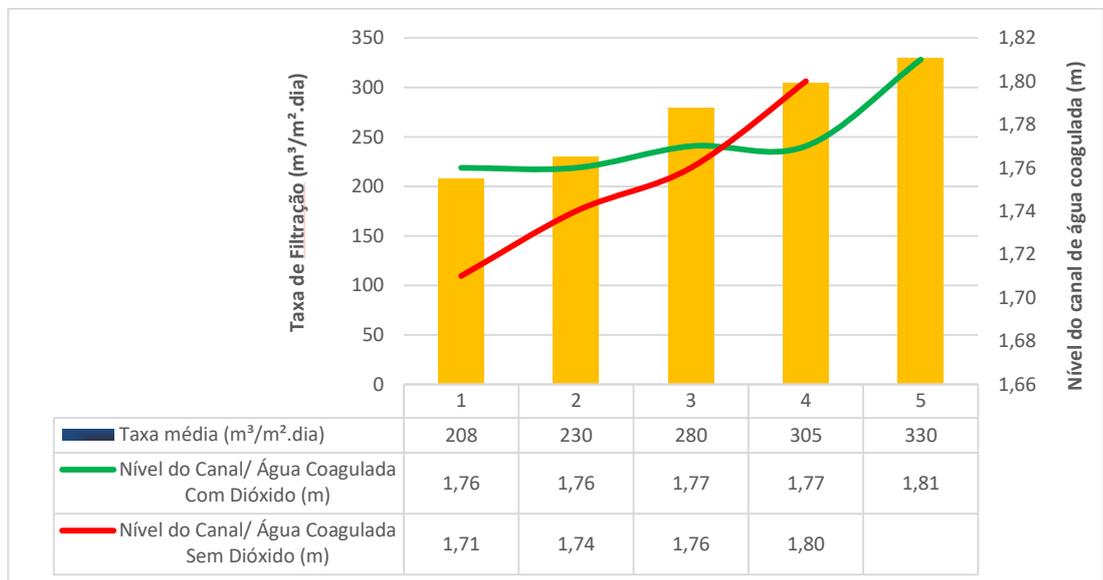
	ENSAIOS DE JARROS - ESTUDOS DE TRATABILIDADE - ETA RIO DESCOBERTO						DATA:	HORA:	
	ROTINA						18/10/2016	13h45	
DADOS GERAIS DA ÁGUA BRUTA				DADOS GERAIS DO ENSAIO					
pH	ALCALINIDADE	COR	TURBIDEZ	TEMPO DE AGITAÇÃO RÁPIDA (300RPM): <b>00 segundos</b>	TEMPO DE AGITAÇÃO LENTA (70RPM): <b>07 minutos</b>	OXIDANTE	COAGULANTE	ALCALINIZANTE	
6,8	7,8	18	12,5			<b>Dióxido de Cloro</b>	<b>Sulfato de Alumínio</b>	-	
JARROS	01	02	03	04	05	06	CANALETA	RESPONSÁVEL	
Dosagem de Oxidante (mg/L)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	OBSERVAÇÕES: Contagem de Fito na Água Bruta: 436.230 Ind/L. Contagem de Ciano na Água Bruta: 5.883 Cél/mL.		
Dosagem de Pré-alcalinizante (mg/L)	0	0	0	0	0	0			
Dosagem de coagulante (mg/L)	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1			
Dosagem de Aux-coagulação (mg/L)	0	0	0	0	0	0			
RESULTADOS									
Turbidez Filtrada (uT)	0,69	0,70	0,72	0,79	0,96	1,15			
pH	6,29	6,13	6,07	6,03	6,01	5,96			
Contagem de Fito (Ind/L)	-	3.930 (99,1%)	-	-	11.790 (97,3%)	-			
Cont. de Cél. Cianobactérias	-	47 (99,2%)	-	-	141 (97,6%)	-			
THM (mg/L)	-	< 0,001	-	-	< 0,001	-			
Microsistina (ug/L)	-	<0,2	-	-	<0,2	-			
Saxitoxina (ug/L)	-	<0,02	-	-	<0,02	-			
Residual de Clorito (mg/L)	0	0,07	0,17	0,28	0,32	0,44			
Residual de Dióxido de Cloro (mg/L)	0	0,02	0,05	0,11	0,15	0,22			

Fonte: Autor (2016).

Entre os dias 12/05 a 12/06/2017, foi avaliado o comportamento do sistema de filtração da ETA Rio Descoberto frente às principais vazões de operação de água bruta: 2,8, 3,8, 4,9 e 5,4 m<sup>3</sup>/s, com a aplicação de dióxido de cloro como pré-oxidante. Depois, num segundo período, entre 13/06 e 05/07/2017, continuou-se o estudo de caso sem a aplicação do dióxido de cloro, mantendo os mesmos critérios informados na Metodologia. Como a Caesb passava por processo de restrição de produção, devido à crise hídrica, essas vazões foram simuladas no sistema de filtros com taxas de filtração da ordem de 232, 275, 305 e 333 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, aplicando a retirada de unidades de filtração, de modo a simular essas taxas. As taxas foram mantidas constantes na operação por período de cinco dias em média.

Observa-se na Figura 17, que foi possível manter o nível do canal de água coagulada, na média de 1,79 metros, mesmo com as variações nas vazões aduzidas e taxas. Esse resultado foi muito importante, pois a carga hidráulica sobre o leito dos filtros permaneceu praticamente igual, não influenciando no seu desempenho quanto aos resultados de turbidez da água filtrada.

**Figura 17 – Taxa média x Comportamento do canal de água coagulada**

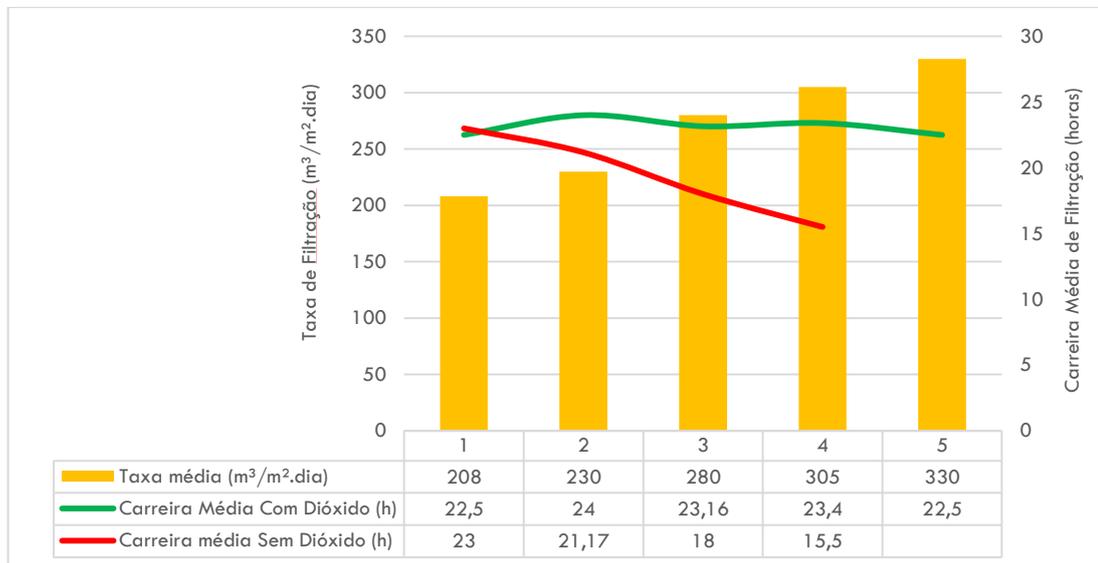


Fonte: Autor (2017).

A Figura 18 trata da manutenção do nível do canal de água coagulada e o nº de horas de operação dos filtros (carreira). Verificou-se que até a taxa 305 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, o sistema de filtros apresentou desempenho muito bom. O nº de horas de operação, se necessário, poderia ultrapassar a 23 horas, sem prejuízo operacional. A partir da taxa 333 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia foi verificada a necessidade de reduzir a carreira de

modo a manter o nível do canal de água coagulada abaixo de 1900 mm e evitar o seu extravasamento.

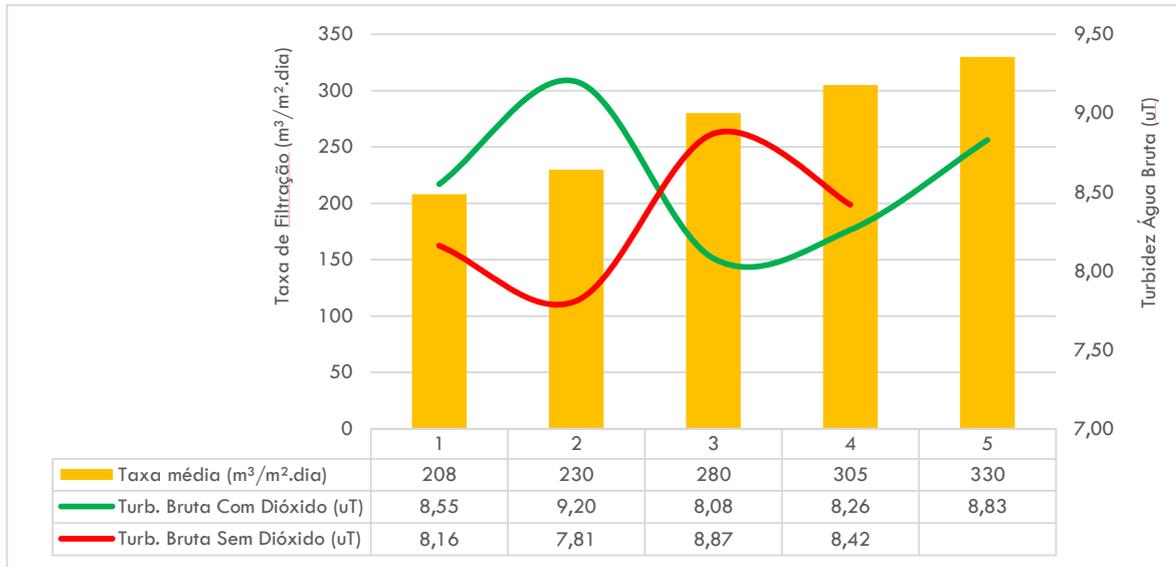
**Figura 18 – Taxa média x Carreia média dos filtros**



Fonte: Autor (2017).

Nas Figuras 19, 20 e 21 são analisados os comportamentos da qualidade da água bruta e final, concluindo-se que a água bruta manteve-se com turbidez entre 7 e 9 uT. Com a relação a turbidez final, o resultado foi baixo do esperado com média de 0,23 uT. As dosagens de coagulante primário e auxiliar de floculação mantiveram-se na faixa de 3,0 a 3,5 mg/L e 0,025 a 0,015 mg/L, respectivamente. Observou-se certa estabilidade e pouca influência no pH de coagulação, que foi reduzido de dois a três décimos em relação ao pH da água bruta (6,9), sem a necessidade da aplicação de pré-alcalinizante. Nesse sentido, diante do comportamento dos flocos, pode-se inferir que ação do dióxido de cloro foi bastante benéfica para o processo de filtração direta (Figura 19).

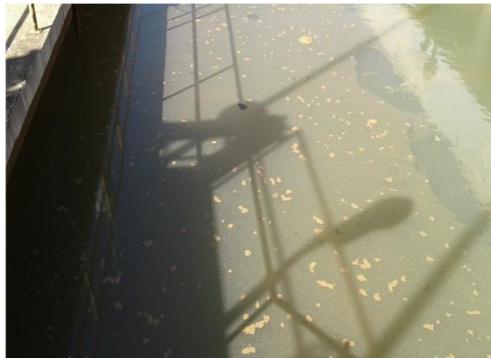
**Figura 19 – Taxa média x Tubidez da Água Bruta**



Fonte: Autor (2017).

**Figura 20 – Aspecto visual da floculação nos filtros**

FILTRO 03 – COM USO DO DIÓXIDO DE CLORO COMO PRÉ-OXIDANTE.



FILTRO 01 – SEM USO DE DIÓXIDO DE CLORO COMO PRÉ-OXIDANTE.



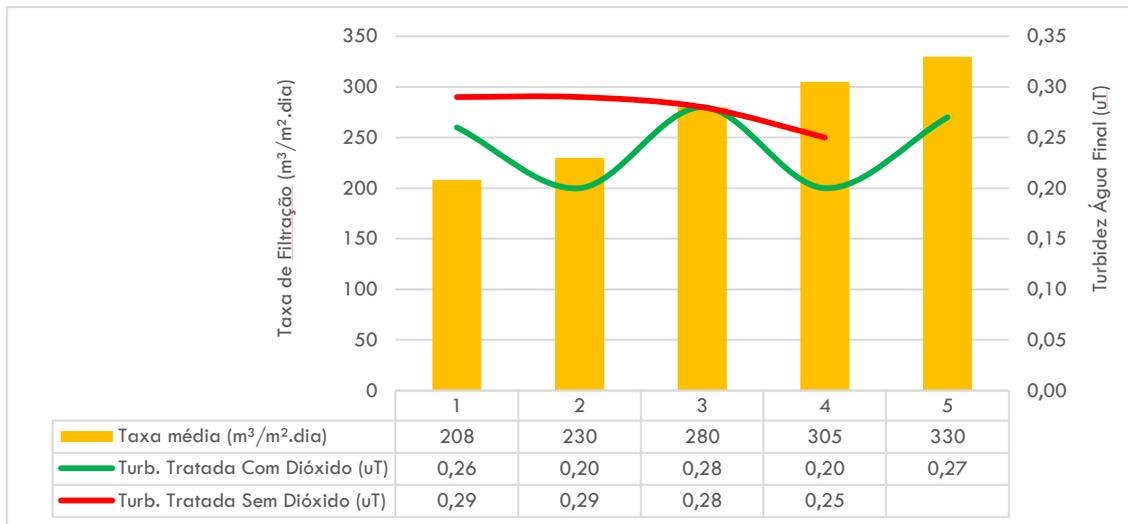
FILTRO 04 – RESULTADOS DAS PAREDES INTERNAS APÓS 30 DIAS DE USO COM DIÓXIDO DE CLORO.



FILTRO 04 – AMOSTRAGEM DO LEITO SUPERFICIAL DA CÂMARA A, TAMBÉM APÓS 30 DIAS E DEPOIS DA LAVAGEM QUÍMICA.



Fonte: Autor (2017).

**Figura 21 – Taxa média x Turbidez da Água Tratada**

Fonte: Autor (2017).

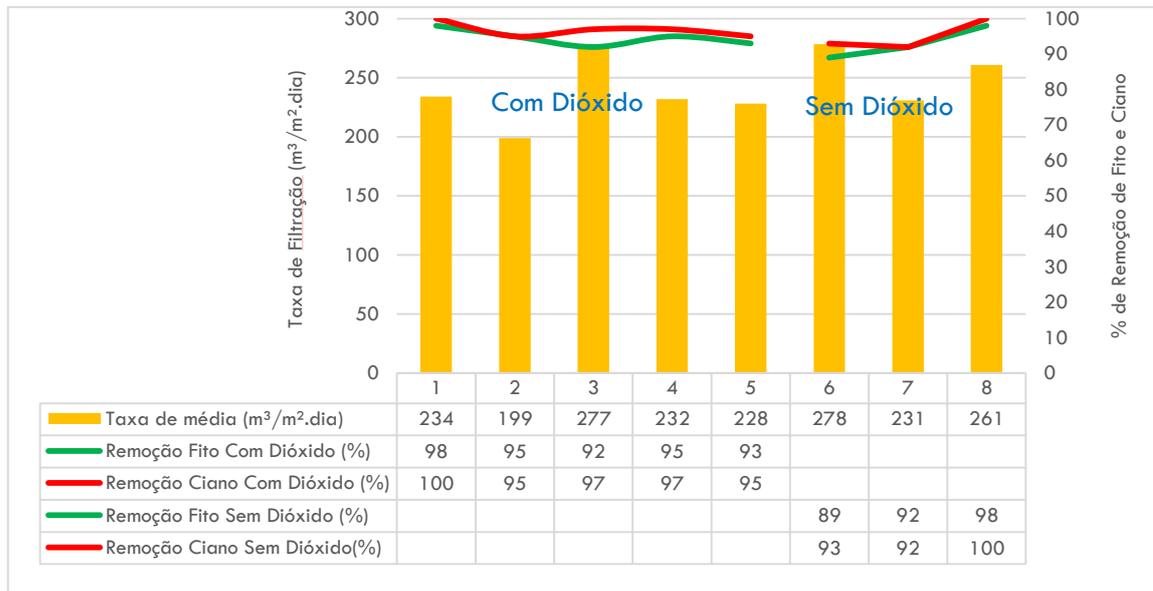
No Quadro 09 e Figura 22, a taxa de remoção de fito foi de 95% e a de ciano de 97%, concluindo que ambos os resultados foram mantidos dentro da média histórica da unidade e com certa manutenção frente às variações de taxas de filtração aplicadas nos respectivos dias de coleta das amostras.

**Quadro 09 – Densidades de Fitoplâncton e Cianobactérias na Água Bruta e Tratada**

Datas da Coleta	Fitoplâncton (Ind./L)			Cianobactéria (Cél./mL)		
	Bruta	Tratada	% Rem.	Bruta	Tratada	% Rem.
17/05/2017	279.030	3.930	98	4.861	0	100
22/05/2017	557.350	39.250	95	7.921	377	95
26/05/2017	290.820	39.300	92	4.607	216	95
31/05/2017	612.300	31.400	95	9.609	283	97
07/06/2017	463.150	39.300	93	7.930	330	96
14/06/2017	565.200	35.370	94	10.968	290	97
21/06/2017	565.200	43.230	92	9.972	330	97
28/06/2017	745.750	70.740	92	12.214	802	93
05/07/2017	486.700	23.580	98	8.818	47	99
Médias	507.278	36,233	95	8.556	297	97

Fonte: Caesb (2017)

**Figura 22 – Taxa média x Remoção de Fito e Ciano**



Fonte: Autor (2017).

Com relação ao controle de THM Total, as amostras foram coletadas num intervalo diário médio de 12 horas, com coletas às 04h00 e 16h00. O resultado das coletas nos dois períodos estabelecidos está apresentado no Quadro 10. Desses resultados calculou-se uma média do valor residual na água final foi de 0,008 mg/L, de média. Pode-se dizer que o valor obtido é muito positivo, tendo em vista o mesmo está bem abaixo do que a Portaria de Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde determina, que é abaixo de 0,1 mg/L. A expectativa é que se implementada a dosagem de dióxido de cloro como pré-oxidante, esse parâmetro não seja problema para o controle operacional.

**Quadro 10 – Distribuição dos resultados de THM Total na Água Tratada**

Período de Avaliação	Residual THM (mg/L)
16 a 17/05/17	0,007
17 a 18/05/17	0,006
18 a 19/05/17	0,010
19 a 20/05/17	0,007
20 a 21/05/17	0,006
21 a 22/05/17	0,005
22 a 23/05/17	0,007
24 a 25/05/17	0,017
26 a 27/05/17	0,015
30 a 31/05/17	0,010
31 a 01/06/17	0,005
02 a 03/06/17	0,005
03 a 04/06/17	0,005
Média (mg/L)	0,008

Fonte: Autor (2017).

Infelizmente, não foi possível avaliar a concentração de clorito na água tratada por questões de insumos e equipamentos de análise, apenas nos dois primeiros dias de testes é que se registrou resultados na média de 0,12 mg/L. Desta forma procurou-se manter a dosagem constante de dióxido de cloro, inviabilizando testes com outras faixas de dosagem na planta.

Diante do exposto, as principais conclusões sobre a aplicação de dióxido de cloro na ETA Rio Descoberto como pré-oxidante, são:

- Aumento médio da carreira de filtração para 23 horas, com fator limitante, taxas de filtração superiores a 330 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia;
- Pouca influência no pH de coagulação, com redução de dois a três décimos no resultado final, sem a necessidade da aplicação de pré-alcalinizante;
- Pode-se inferir com positiva a participação nos processos de coagulação e floculação, com turbidez média na água tratada de 0,23 uT, o que nos remete o seu uso no período de chuvas;

- Residual médio de THM Total muito baixo (0,008 mg/L) do recomendado pela Portaria de Consolidação nº 05, Anexo XX, do Ministério da Saúde, de 28 de setembro de 2017;
- Manutenção dos resultados históricos de remoção de fito e ciano na unidade, com patamar médio de 95%.
- Excelente apresentação das estruturas internas das paredes dos filtros, com referência a redução de biofilmes de lodo e bactérias nas paredes das estruturas dos canais, floculadores e filtros;
- Aspecto visual do leito filtrante sem ocorrência de pontos de concentração de compostos húmicos ou fúlvicos, caracterizando leito renovado e com baixa possibilidade de acúmulo de bolas de lodo.
- Sistema gerador de dióxido de cloro, modelo adotado Sabará, sem registro de vazamento de gás ou de líquidos (ácido clorídrico e clorito de sódio), com precisão de dosagem e facilidade de operação e manutenção.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados com a aplicação de dióxido de cloro como pré-oxidante indicam que esse produto químico pode ser uma alternativa bastante viável para aumentar as carreiras de filtração da ETA Rio Descoberto, podendo também contribuir, conseqüentemente, em outros aspectos operacionais importantes, como por exemplo, a redução da frequência e consumo de água e energia elétrica no processo de lavagem de filtros, com possibilidade de melhoria da qualidade da água produzida pela otimização dos processos de coagulação e floculação. Contudo dois aspectos adicionais devem ser avaliados, a variação de dosagem de dióxido de cloro com o fator limitante na geração de clorito, parâmetro importante na Portaria de Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde, e o custo de implementação dessa tecnologia em unidade do porte da ETA Rio Descoberto, que se apresenta, no momento, superior a três vezes em comparação a instalação de sistema tradicional de cloro gasoso.

### **7.1 Sugestões de Trabalhos Futuros**

Os testes em bancada e em planta com uso do dióxido de cloro mostraram-se simples e bastante seguro. Assim, o autor recomenda ampliar avaliação da formação de clorito na água tratada, em função de dosagens de dióxido de cloro superior a 0,3 mg/L e os efeitos no controle de oocistos e *Cryptosporidium* na água de retorno de lavagem de filtros que alimentam a chegada de água bruta em ETAs com processo do tipo filtração direta.

## REFERENCIAS

- DI BERNARD, L., & DANTAS, A. D. (2005). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. São Carlos: RiMa.
- IBGE, I. B. (2010). *PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO*. RIO DE JANEIRO.
- L, D. B., DANTAS, A. D., SLOBODA, E., & VIEIRA, L. M. (2007). *Caracterização das Substâncias Húmicas Aquáticas e Comparação com as Substâncias Húmicas*. Belo Horizonte: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária.
- PASCHILATO, C. P. (2005). *Efeito da pré-oxidação, coagulação, filtração e pós-cloração na formação de subprodutos orgânicos halogenados em água contendo substâncias húmicas*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos.
- RITTIMAN, D. (1996). *Advantages of Chlorite Reduction with Ferrous Iron*. Bulletin EKA CHEMICALS.
- SINGER, P. C. (1994). *Control of disinfection by-products in drinking water*. ASCE: Journal of Environmental Engineering.
- THURMAN, E. (1985). *Organic geochemistry of material waters*. Dordrecht: Nihoff, M.
- THURMAN, E. M., & MALCOLM, R. L. (1981). *Preparative isolation of aquatic substances*. Environmental Science Technology.
- USEPA, U. S. (1999). *Alternative disinfectants and oxidants guidance manual*. Washington: USEPA.