

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO FILTRO AUTOLIMPANTE
NO TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS**

Nayara Cristina dos Santos

**FLORIANÓPOLIS - SC
JULHO/2009**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO FILTRO AUTOLIMPANTE
NO TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS**

Nayara Cristina dos Santos

**Trabalho apresentado à
Universidade Federal de Santa
Catarina para Conclusão do Curso
de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.**

**Orientadora
Mestre Bianca Coelho Machado**

**FLORIANÓPOLIS - SC
JULHO/2009**

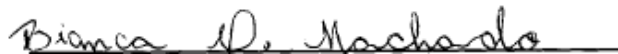
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO FILTRO AUTOLIMPANTE NO
TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS**


NAYARA CRISTINA DOS SANTOS

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental – TCC II**

BANCA EXAMINADORA:



Bianca Coelho Machado
(Orientadora)



Dra. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto
(Membro da banca)



Msc. Denise Conceição de Gois Santos Michelan
(Membro da banca)

**FLORIANOPOLIS - SC
JULHO, 2009**

*Aos meus pais, Pedro e Marli e ao meu noivo
Luiz, pelo constante amor e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, meu Criador, por estar sempre guiando todos os passos da minha caminhada.

Meus pais, Pedro e Marly, que mesmo passando por dificuldades me proporcionaram uma educação de qualidade e abriram mão de seus sonhos pra que eu pudesse atingir este objetivo.

Meus irmãos, Taymara e Nathan pelo incentivo e companheirismo.

Meu noivo Luiz, pela paciência, amor e incentivo.

À orientadora Bianca agradeço a disponibilidade e generosidade de compartilhar comigo sua qualificação, e acima de tudo pelo incentivo, motivação e amizade.

Ao Professor Maurício Luiz Sens pela oportunidade de realizar este trabalho.

Às bolsistas Nathália, Mariana e Flávia pelo auxílio nas análises.

Ao operador, Gerson e vigia José pela força física durante os trabalhos e principalmente por tornar os finais de semana na ETA muito mais divertidos.

À FUNASA – Fundação Nacional de Saúde pelo financiamento da pesquisa.

RESUMO

O processo de urbanização afeta de forma direta a qualidade da água dos mananciais que abastecem as cidades, favorecendo a eutrofização. Neste caso, a fertilização excessiva da água é proporcionada pela presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo), os quais favorecem o crescimento descontrolado de cianobactérias, algas e plantas aquáticas, causando florações, chamadas *blooms*. Além da capacidade de produzirem toxinas, *blooms* de cianobactérias podem causar problemas de odor e sabor em corpos d'água. Uma vez que essas substâncias não são eficientemente removidas nas rotinas convencionais de tratamento de água, o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento desta água torna-se fundamental, pois a quantidade excessiva de cianobactérias dificulta o tratamento de água, provocando desde a obstrução dos filtros até liberando toxinas, sendo por esses motivos indesejáveis em águas para abastecimento humano. Sendo assim, a pesquisa em questão utilizou filtro autolimpante para tratar águas eutrofizadas, objetivando, principalmente, a remoção de cianobactérias. Para atingir os objetivos, dividiu-se o trabalho em duas fases: filtração autolimpante sem adição de coagulante; e com adição de coagulante, sulfato de alumínio. Após as análises, pode-se perceber que o filtro autolimpante proporciona uma remoção satisfatória de cianobactérias, turbidez, cor e clorofila-a, desde que se use o sulfato de alumínio no processo de tratamento de água.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Água, Filtro Autolimpante, Cianobactérias.

ABSTRACT

The process of urbanization affects in a direct water quality of springs that supply the cities, promoting the eutrophication in this case, the excessive fertilization of water is provided by the presence of nutrients (nitrogen and phosphorus), which promote the uncontrolled growth of cyanobacteria , algae and aquatic plants, causing algal blooms, called blooms. Besides the ability to produce toxins, blooms of cyanobacteria can cause problems of odor and taste in water. Since these substances are not efficiently removed routines conventional water treatment plants, developing new technologies for the treatment of water becomes vital, because the excessive quantity of cyanobacteria complicates the treatment of water, resulting from the obstruction of filters by releasing toxins, and for these reasons undesirable in water supplies for humans. Thus, the research in question used filter self to treat eutrophic waters, aiming, mainly, the removal of cyanobacteria. To achieve the goals, divided the work into two phases: self filtration without the addition of coagulant, and with the addition of coagulant, aluminum sulfate. After the analysis, one can see that the filter self provides a satisfactory removal of cyanobacteria, turbidity, color and chlorophyll-a, provided they use the aluminum sulfate in the treatment of water.

KEY-WORDS: Treatment of Water, Filter self, Cyanobacteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas freqüentemente encontradas em ecossistemas aquáticos continentais.....	21
Figura 3.2: Funcionamento de um Filtro Astrasand Autolimpante.....	22
Figura 4.1: Local de implantação do sistema piloto de filtração direta com filtros autolimpantes.....	24
Figura 4.2: Foto do filtro autolimpante utilizada na pesquisa.....	26
Figura 4.3 Foto do <i>airlift</i>	28
Figura 4.4: Foto do painel de controle.....	28
Figura 4.5: Fotos da peça de controle de nível de água de lavagem.....	29
Figura 4.6: Equipamento de <i>Jartest</i> utilizado.....	30
Figura 4.7: Organograma da Fase 1 da Etapa 3 da pesquisa.....	31
Figura 4.8: Croqui da Fase 1 da Etapa 3 da pesquisa.....	32
Figura 4.9: Organograma da Fase 2 da Etapa 3 da pesquisa.....	33
Figura 4.10: Croqui da Fase 2 da Etapa 3 da pesquisa.....	34
Figura 5.1 – Diagrama de Coagulação SA (Turbidez x Dose).....	39
Figura 5.2 – Diagrama de Coagulação SA (Cor x Dose).....	39
Figura 5.3 - Resumo dos Resultados da Fase 1(cor aparente, cor verdadeira, condutividade, temperatura, sólidos dissolvidos).....	40
Figura 5.4 - Resumo dos Resultados da Fase 1(turbidez, pH, clorofila-a).....	41
Figura 5.5 - Resumo dos Resultados da Fase 1 (cor verdadeira, cor aparente, sólidos dissolvidos, temperatura, condutividade).....	41
Figura 5.6 - Resumo dos Resultados da Fase 1 (turbidez, pH, clorofila-a, temperatura).....	42
Figura 5.7 – Porcentagem de Remoção Fase 1.....	43
Figura 5.8 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (cor verdadeira, turbidez, pH, clorofila-a).....	44
Figura 5.9 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (cor aparente, sólidos dissolvidos, condutividade, temperatura).....	45
Figura 5.10 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (cor verdadeira, cor aparente, pH).....	45
Figura 5.11 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (sólidos dissolvidos, condutividade, temperatura).....	45
Figura 5.12 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (clorofila-a, turbidez).....	46
Figura 5.13 – Porcentagem de Remoção da Fase 2.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Vantagens e desvantagens da Filtração direta em relação ao Tratamento convencional.....	14
Tabela 3.2 – Grupos de cianobactérias,órgãos-alvos e gênero.....	20
Tabela 4.1 - Característica da água da Lagoa do Peri.....	25
Tabela 4.2 - Relação dos parâmetros de qualidade da água, metodologias, equipamentos utilizados e freqüência de coletas em cada ponto de amostragem na avaliação das seqüências de tratamento.....	36
Tabela 5.1 - Parâmetros de qualidade da água, método analítico e equipamentos utilizados nos ensaios de coagulação.....	38
Tabela 5.2 – Resultados dos Ensaios de <i>Jartest</i>	38
Tabela 5.3 - Resumo dos Resultados da Fase 1.....	40
Tabela 5.4 – Porcentagem de remoção da Fase 1.....	42
Tabela 5.5 – Resumo dos resultados da Fase2.....	43
Tabela 5.6 – Resumo dos resultados da Fase2.....	44
Tabela 5.7 – Resumo dos resultados da Fase2.....	44
Tabela 5.8 – Resumo dos resultados da Fase2.....	46
Apêndice 9.1 - Resultados das análises de água bruta da Fase 1.....	53
Apêndice 9.2 - Resultados das análises de água filtrada da Fase 1.....	53
Apêndice 9.3 - Resultados das análises de água bruta da Fase 2.....	54
Apêndice 9.4 - Resultados das análises de água filtrada da Fase 2.....	54
Anexo 10.1 - Tabela 2 da Portaria nº 518/04 do MS – Padrão de Turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.....	56
Anexo 10.2 - Tabela 5 da Portaria nº 518/04 do MS – Padrão de aceitação para consumo humano.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS

AB	Água Bruta
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAL	Filtro Autolimpante
FLA	Filtro de Laboratório de Areia
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
LALP	Laboratório de Água da Lagoa do Peri
MS	Ministério da Saúde
RUV	Radiação Ultravioleta
AS	Sulfato de Alumínio
SC	Santa Catarina
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VMP	Valor Máximo Permtido

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVO GERAL.....	13
2.1. Objetivos Específicos	13
2.2. Finalidade.....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Tratamento de Água	14
3.1.1. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	15
3.1.2. FILTRAÇÃO RÁPIDA E FILTRAÇÃO LENTA.....	15
3.1.3. FILTRAÇÃO EM MARGEM.....	16
3.1.4. OXIDAÇÃO.....	16
3.1.5. PROCESSOS DE MEMBRANA.....	17
3.2. Abastecimento para pequenas comunidades.....	17
3.3. Portaria nº 518 do Ministério da Saúde	18
3.4. Cianobactérias e Cianotoxinas	18
3.4.1. <i>Cianobactérias</i>	18
3.4.2. <i>Cianotoxinas</i>	19
3.4.3. <i>Problemas Causados pela Presença de Cianobactérias em Estações de Tratamento de Águas (ETA's)</i>	20
3.5. Filtro Autolimpante	21
4. METODOLOGIA.....	24
4.1. Área de Estudo	24
4.2. Filtro Utilizado	26
4.2.1. <i>Descrição de Funções</i>	27
4.3. Desenvolvimento das Etapas Pesquisa	29
4.3.1. <i>Etapa 1: Estudo do Sistema Piloto.</i>	29
4.3.2. <i>Etapa 2: Estudo em Bancada (Jartest)</i>	29
4.3.3. <i>Etapa 3: Ensaio Contínuo</i>	31
4.4. Amostragem	35
4.5. Procedimento para a Operação do Filtro Autolimpante	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6. CONCLUSÕES.....	48
7. RECOMENDAÇÕES.....	49
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
9. APÊNDICES.....	53
10. ANEXOS	56

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a maioria da população mundial vive em aglomerados urbanos e para fornecer água potável em grandes volumes, para atender milhões de habitantes, técnicas foram sendo desenvolvidas. No entanto, muitas sociedades ainda não dispõem de água potável para consumo.

Os problemas decorrentes de tal situação se refletem na persistência de enfermidades que poderiam ser prevenidas, caso houvesse um suprimento adequado de água de boa qualidade, condição indispensável para uma qualidade de vida razoável.

Por ser um bem de primeira necessidade, a água é utilizada cotidianamente para o preparo de alimentos, matar a sede, higiene, limpeza, além da exploração pelas indústrias, agricultura e navegação. Independente do desenvolvimento econômico e social da região que usufrui do recurso, o processo de urbanização gera impactos e interfere na qualidade e quantidade de água disponível em mananciais que abastecem as cidades, favorecendo a eutrofização e acarretando doenças de veiculação hídrica.

Além disso, é consenso que a presença de algas nos mananciais de abastecimento modifica a qualidade da água a ser tratada, prejudicando a operação das estações de tratamento de água (ETA's). Contudo, as cianobactérias são o tipo de alga que mais despertam preocupação, pois representam riscos à saúde da população – devido à possibilidade da existência de cianotoxinas dissolvidas nas águas.

Outra grande preocupação é o fato de a maior parte da população brasileira exposta às doenças hídricas encontrar-se na zona rural ou em pequenos municípios, que não tem acesso à água tratada e, em geral, não são contemplados com investimento em tecnologias sofisticadas. Assim, surge a necessidade do emprego de tecnologias de tratamento de água simples, cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas com os recursos locais dessas comunidades e, ao mesmo tempo, disponibilize água com qualidade segura.

Visando suprir esta lacuna, considera-se o uso do filtro autolimpante na remoção de cianobactérias – mesmo a técnica ainda não tendo sido estudada com esta finalidade. O filtro autolimpante opera continuamente, ou seja, a operação não precisa ser interrompida para retrolavagem ou limpeza do meio. A água que entra é filtrada percorrendo em fluxo ascendente, enquanto o leito de areia se move para baixo. Simultaneamente com o processo de filtração, a areia suja é lavada em um lavador de areia e os sólidos suspensos são descarregados com a água de lavagem (ASTRASAND DO BRASIL, 2007 a).

Sendo assim, a pesquisa em questão utilizou o filtro autolimpante, para tratar águas eutrofizadas, objetivando, principalmente, a remoção de cianobactérias.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência do filtro autolimpante no tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias para o abastecimento de pequenas comunidades.

2.1. Objetivos Específicos

- Avaliar a dinâmica dos parâmetros físico-químicos e biológicos.
- Verificar a influência da coagulação – Sulfato de Alumínio (SA) – na técnica utilizada.

2.2. Finalidade

A quantidade de cianobactérias dificulta o tratamento de água, provocando desde a obstrução dos filtros até liberando toxinas presentes em algumas espécies, sendo por esses motivos indesejáveis em águas para abastecimento humano. O filtro autolimpante opera continuamente, não sendo necessária a interrupção do processo para limpeza do meio; e, como se trata de um equipamento relativamente compacto, a utilização como sistema de tratamento para águas eutrofizadas que abastecem pequenas comunidades pode ser muito proveitosa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Tratamento de Água

Segundo Di Bernardo e colaboradores (2003), tratamento de águas de abastecimento pode ser definido como o conjunto de processos e operações realizados com a finalidade de adequar as características físico-químicas e biológicas da água bruta de maneira que não ofereça riscos à saúde humana.

As tecnologias de tratamento de águas para abastecimento são classificadas:

- convencionais: inclui todas as etapas tradicionais do processo – coagulação, floculação, decantação e filtração; e
- não-convencionais: inclui a filtração direta ascendente e descendente, a dupla filtração, filtração lenta, entre outras.

O surgimento de novas tecnologias para o tratamento de águas de abastecimento resulta da degradação dos mananciais, que apresentam, com o passar dos anos, uma piora progressiva na qualidade, dificultando o tratamento que visa a potabilização dessa água.

O tratamento convencional consiste comumente na combinação dos processos de coagulação, floculação, clarificação (sedimentação ou flotação por ar dissolvido), filtração rápida e desinfecção. Normalmente, é indicado para a potabilização de águas com menor qualidade, além de possuir a capacidade de absorver variações na qualidade da água bruta.

Em contrapartida, a filtração direta é um processo de tratamento que não utiliza a decantação para clarificação da água. Por este motivo, esta tecnologia é geralmente utilizada para tratar água bruta com baixos valores de turbidez e cor verdadeira.

Di Bernardo e colaboradores (2003) afirmam que, apesar da predominância do tratamento convencional nos distritos brasileiros, os tratamentos não-convencionais vêm se difundindo cada vez mais e já apresentam utilização significativa no país.

De acordo com Di Bernardo e colaboradores (2003), a qualidade da água é um fator determinante na escolha da tecnologia de tratamento a ser adotada, sobretudo na filtração direta; pois, nesse caso, a remoção das impurezas da água ocorre exclusivamente no meio granular do filtro. Os filtros de escoamento ascendente em geral apresentam espessuras maiores que os filtros de escoamento descendente, tanto da camada suporte quanto a de areia, o que pode gerar melhores resultados em relação à duração das carreiras e à qualidade da água produzida. A Tabela 3.1 apresenta as vantagens e desvantagens da Filtração Direta em relação ao Tratamento Convencional.

Tabela 3.2 - Vantagens e desvantagens da Filtração direta em relação ao Tratamento convencional

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Menor número de unidades envolvidas;• Menor consumo de produtos químicos durante o processo de tratamento;• Fácil operação e manutenção;• Menor geração de lodo.	<ul style="list-style-type: none">• Restritiva em relação à qualidade da água bruta;• Mudanças na qualidade da água bruta afetam a qualidade da água tratada.

Nas ETA's que utilizam o tratamento convencional, os filtros retêm material que não foi removido no processo de decantação ou flotação. Por não utilizar esses processos, as ETA's de filtração direta têm menor capacidade de acumular impurezas que as estações de tratamento que incorporam a etapa de clarificação preliminar, pois os filtros são as únicas unidades responsáveis pela retenção de material em suspensão presente na água.

A alteração de qualidade da água nos mananciais devido à floração de algas, as quais comprometem o funcionamento das unidades de tratamento, influencia diretamente no sistema de abastecimento de água, reservatórios e rede de distribuição. Dentre os principais problemas observados nas ETA's, que captam e tratam águas eutrofizadas para fins de abastecimento público, o mais relevante é a presença de microalgas e cianobactérias no manancial, os quais impõem um aumento no consumo de produtos químicos, presença de sabor-odor, redução da carreira filtrante e também o risco da liberação das cianotoxinas (GARCIA, 2007).

Devido a esses problemas operacionais, pode ocorrer uma redução na eficiência dos processos de tratamento e conseqüente degradação da qualidade do efluente da ETA. Além disso, o tratamento de águas com elevadas concentrações de cianobactérias tóxicas, quando realizado de forma inadequada, pode não ser eficiente na remoção dessas cianobactérias ou mesmo favorecer liberação das toxinas para a massa de água (MELO FLHO, 2006).

Devido principalmente aos riscos relativos à saúde, muitos processos de tratamento tem sido desenvolvido para a remoção de cianobactérias e toxinas presentes na água; dentre eles:

3.1.1. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

A coagulação é definida como a desestabilização das cargas superficiais das partículas coloidais e em suspensão, incluindo bactérias e vírus, por meio da adição do coagulante. É um processo rápido, da ordem de segundos, que ocorre nas unidades de mistura rápida.

A floculação é considerada o segundo estágio na formação de partículas, definida como o processo de aglomeração de partículas coaguladas e desestabilizadas, formando flocos com volume suficiente para sua remoção em unidades de sedimentação, flotação ou filtração (RICHTER *et al*, 2002).

Segundo Hitzfeld e colaboradores (2000), a eficiência do processo de remoção de cianobactérias está diretamente ligado a otimização do produto químico e do pH de coagulação. A desvantagem dessa técnica é que pode haver a lise das células de cianobactérias, levando a liberação de toxinas.

3.1.2. FILTRAÇÃO RÁPIDA E FILTRAÇÃO LENTA

A filtração rápida – método usualmente empregado depois da coagulação para remover os flocos – é um processo físico-químico no qual as partículas (ou flocos) de impureza são retidas nos vazios de um meio granular, geralmente areia (FUNASA, 2003). Esse método não remove efetivamente células de cianobactérias. O tratamento de água convencional requer limpeza regular dos filtros, mas se essa limpeza for inadequada, lises de células de cianobactérias presentes no filtro podem levar a liberação de toxinas na água (HITZFELD *et al.*, 2000).

A filtração lenta é um processo predominantemente biológico de remoção de impurezas que ocorre de forma natural, ou seja, sem a utilização de produtos químicos, de equipamentos sofisticados e de mão de obra especializada para a operação (MELO FLHO, 2006)

A remoção de partículas ocorre principalmente na superfície do filtro onde se desenvolve uma película biológica conhecida como *schmutzdecke* (FUNASA, 2003).

3.1.3. FILTRAÇÃO EM MARGEM

A filtração em margem é uma forma de captação que consiste em usar os materiais sedimentares das margens e do fundo de um manancial superficial como meio filtrante. Para isto, constroem-se poços de captação nas margens do manancial, induzindo a água superficial a infiltrar-se através das margens e/ou fundo do manancial em direção ao poço. Assim, os possíveis contaminantes presentes na água superficial são removidos nesse percurso.

Através da filtração em margem, as algas, as cianobactérias, os microrganismos patogênicos são removidos através do contato com os materiais do solo/subsolo. O processo de remoção torna-se mais eficiente quanto menor a velocidade da água no solo/subsolo, na presença de matéria orgânica e quando o subsolo é constituído de materiais granulares com interstícios abertos, para a água contornar os grãos (SENS *et al.*, 2006).

Nessas circunstâncias, a rota de fluxo é tortuosa, fornecendo uma ampla oportunidade para os organismos entrarem em contato com os contaminantes e com o material sedimentar, favorecendo os mecanismos de adsorção, degradação e interceptação de partículas presentes na água. No final desse percurso a água que chega ao poço poderá estar clarificada e isenta de contaminantes (SENS *et al.*, 2006).

3.1.4. OXIDAÇÃO

O processo de oxidação envolve a troca de elétrons entre espécies químicas com mudança do estado de oxidação (valência) das espécies envolvidas. Entre esses processos estão a cloração, a ozonização e a radiação ultravioleta (SENS *et al.*, 2006).

Cloração

Em geral, cloração não é um processo efetivo na destruição de cianotoxinas. A eficiência da cloração depende largamente do composto cloreto e da concentração utilizada (HITZFELD *et al.*, 2000).

Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta (RUV) é um desinfetante eficiente para eliminar vírus e bactérias, porém a eficiência é largamente dependente da carga orgânica presente na água, ou seja, a água em tratamento deve possuir baixa cor e turbidez para permitir a penetração dos raios da RUV.

Ozonização

Processo de oxidação ou desinfecção realizado a partir da adição de ozônio na água a ser tratada. A oxidação no processo de ozonização é resultado da reação direta do ozônio com os compostos presentes na água e, também, pode ser em virtude da ação de outros oxidantes químicos formados a partir da adição do próprio ozônio

(radicais livres como OH^\bullet , O_3^- , O_2^- , HO_2^- , e peróxido de hidrogênio – H_2O_2) (FUNASA, 2003).

A ozonização foi inicialmente utilizada no tratamento de água com o objetivo de inativar vírus e bactérias. Recentemente, muitas estações de tratamento de água têm incluído a ozonização como forma de tratamento em duas fases, quer como pré e intermediária ozonização, intermediária e pós ozonização ou como pré e pós ozonização (HITZFELD *et al.*, 2000).

Quando o ozônio está dissolvido na água, os seguintes mecanismos de reação podem ocorrer (SENS *et al.*, 2006)

- reação direta com compostos dissolvidos;
- decomposição em oxidantes secundários altamente reativos (OH° , HO_2°);
- formação de oxidantes secundários adicionais, a partir da reação do ozônio com outros solutos;
- subsequentes, reações destes oxidantes secundários com solutos.

As reações citadas podem ou não ocorrer simultaneamente, dependendo das condições da reação e da composição química das substâncias dissolvidas na água.

Enquanto a reação direta é altamente seletiva e relativamente lenta, a reação indireta através do radical OH° pode reagir fácil e rapidamente com muitos compostos presentes na água.

3.1.5. PROCESSOS DE MEMBRANA

A tecnologia de separação por membranas envolve a utilização de membranas sintéticas, porosas ou semipermeáveis, orgânicas ou inorgânicas e em uma configuração adequada, para separar de um fluido partículas sólidas de pequeno diâmetro, bactérias, vírus, moléculas orgânicas, compostos iônicos de baixo peso molecular e até gases (MIERZWA, 2006).

Para tratamento de água, os processos de separação por membranas que mais se destacam são: microfiltração; ultrafiltração; nanofiltração; osmose reversa; e eletrodialise

O que difere cada um destes processos é a capacidade de separação de contaminante e o tipo e intensidade da força motriz utilizada para promover a separação, além da forma de separação do contaminante. Na microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, a pressão hidráulica é utilizada para promover a separação entre a água e os contaminantes e é a água que atravessa a membrana. Já no processo de eletrodialise, a separação é obtida por uma diferença de potencial elétrico aplicado entre as membranas e neste caso são os contaminantes que atravessam a membrana (MIERZWA, 2006).

3.2. Abastecimento para pequenas comunidades

O Brasil possui uma riqueza hidrográfica impar; contudo um significativo número de pessoas vive, em nosso país sem acesso a água tratada e/ou mínimas condições de saneamento ambiental.

Apesar das pesquisas oficiais registrarem que, entre os serviços de saneamento, o abastecimento público de água é o que apresenta a maior cobertura, muitas vezes estas estatísticas não estão levando em conta a qualidade com que a água chega até a população (CORDEIRO, 2008).

Em muitas regiões do Brasil, a população de algumas comunidades rurais é obrigada, devido à escassez de água, a percorrer grandes distâncias para a obtenção deste recurso, que na maioria das vezes é de péssima qualidade como exemplo, turbidez muito elevada (PINTO E HERMES, 2005).

A partir dessas dificuldades que as comunidades rurais enfrentam, percebe-se a necessidade do desenvolvimento de técnicas práticas, econômicas e viáveis para o tratamento de água, possibilitando uma adequação aos usos a que se destina, visando a melhoria da qualidade de vida dessas populações (PINTO E HERMES, 2005).

A água utilizada para o consumo doméstico nessas comunidades, em geral é altamente turva, contendo material sólido em suspensão, bactérias e outros microrganismos. É necessário que se remova a maior quantidade possível desses materiais antes de usá-la para consumo. Normalmente isso é obtido com a adição de coagulantes químicos, como o Sulfato de Alumínio que é o coagulante mais utilizado atualmente e com um preço bastante razoável (CORDEIRO, 2008)

A potabilização das águas naturais para fins de abastecimento público tem como função principal tornar adequada a água bruta que chega à ETA's ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518. Além dos fatores físicos, químicos e biológicos, ou seja, atender à Portaria MS 518, o desenvolvimento de tecnologias com baixo custo de instalação, operação e manutenção são imprescindíveis para o tratamento de água para pequenas comunidades, principalmente para comunidades de baixa renda (CORDEIRO, 2008).

Técnicas simples de tratamento de água são alternativas sustentáveis para as comunidades rurais, assegurando que as mesmas possam ter água saudável e limpa para o uso doméstico, representando uma melhoria no índice de saúde dessas populações.

3.3. Portaria nº 518 do Ministério da Saúde

A Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 (BRASIL,2004) disponibiliza os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

No Capítulo IV, esta Portaria estabelece os padrões de potabilidade de água para consumo humano. No Artigo 12, Tabela 2 (Anexo 1) é estabelecido o padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção – Tratamento por Filtração Rápida (Tratamento completo ou Filtração direta), sendo o valor máximo permitido (VMP) de 1,0 uT para a garantia microbiológica da água em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos. Reconhecendo-se a limitação dos coliformes como indicadores da remoção de vírus e protozoários, torna-se necessário o recurso a indicadores não-biológicos complementares, a exemplo da turbidez.

3.4. Cianobactérias e Cianotoxinas

3.4.1. Cianobactérias

Estima-se que a origem desses organismos ocorreu há cerca de 3,5 bilhões de anos. Elas são, provavelmente, os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberar oxigênio na atmosfera, estando entre os organismos mais primitivos da Terra (RABELO, 2006).

As cianobactérias ou cianofíceas (algas azuis) são microorganismos aeróbicos fotoautotróficos. Seus processos vitais requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz. A fotossíntese é seu principal modo de obtenção de energia para o metabolismo. Entretanto, sua organização celular demonstra que esses microorganismos são procariontes e, portanto, muito semelhantes bioquimicamente e estruturalmente às bactérias (AZEVEDO, 1998).

A capacidade de crescimento nos mais diferentes meios é uma das características marcantes das cianobactérias. Várias espécies vivem em solos e rochas onde desempenham um importante papel nos processos funcionais do ecossistema e na ciclagem de nutrientes. Entretanto, ambientes de água doce são os mais importantes para o crescimento de cianobactérias, visto que a maioria das espécies apresenta um melhor crescimento em águas neutro alcalinas (pH 6-9), temperatura entre 15 a 30°C e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (AZEVEDO, 1998).

O uso dos ambientes aquáticos como receptores de efluentes produzidos pelas diferentes atividades humanas, tanto industriais como domésticas e agropecuárias, tem levado à introdução de nutrientes na água, o que possibilita a ocorrência de acelerado processo de eutrofização.

Esta eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água incluindo: a redução de oxigênio dissolvido; a perda das características estéticas do ambiente e o potencial para lazer; a morte extensiva de peixes e o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias, com conseqüências negativas sobre a eficiência e custo de tratamento da água, quando se trata de manancial de abastecimento público. Esses *blooms* se caracterizam pelo intenso crescimento desses microorganismos na superfície da água, formando uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade, com conseqüências relacionadas à saúde pública (FUNASA, 2003).

3.4.2. Cianotoxinas

Vários gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações produzem toxinas. As toxinas de cianobactérias, que são conhecidas como cianotoxinas, constituem uma grande fonte de produtos naturais tóxicos produzidos por esses microorganismos e, embora ainda não estejam devidamente esclarecidas as causas da produção dessas toxinas, têm-se assumido que esses compostos tenham função protetora contra herbívora, como acontece com alguns metabólitos de plantas vasculares (CARMICHAEL, 1992).

Azevedo (1998) afirma que algumas dessas toxinas, que são caracterizadas por sua ação rápida, causando a morte por parada respiratória após poucos minutos de exposição, têm sido identificadas como alcalóides ou organofosforados neurotóxicos. Outras atuam menos rapidamente e são identificadas como peptídeos ou alcalóides hepatotóxicos. Estes são os dois principais grupos de cianotoxinas até agora caracterizados : Neurotoxinas e Hepatotoxinas.

- Neurotoxinas - Os sinais de envenenamento por esta toxina, em animais selvagens e domésticos, incluem: desequilíbrio, fasciculação muscular, respiração ofegante e convulsões. A morte é devida a parada respiratória e ocorre de poucos minutos a poucas horas, dependendo da dosagem e consumo prévio de alimento. Os sinais clínicos de intoxicação mostram uma

progressão de fasciculação muscular, decréscimo de movimentos, respiração abdominal exagerada, cianose, convulsão e morte.

- Hepatotoxinas - Tipo mais comum de intoxicação envolvendo cianobactérias, apresentam uma ação mais lenta, causando a morte entre poucas horas e poucos dias, em decorrência de hemorragia intra-hepática e choque hipovolêmico. Os sinais observados após ingestão dessas hepatotoxinas são prostração, anorexia, vômitos, dor abdominal e diarreia.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.2**, os grupos de cianobactérias, órgãos-alvos e gênero.

Tabela 3.2 – Grupos de cianobactérias, órgãos-alvos e gênero.

GRUPOS DE CIANOBACTÉRIAS ¹	ÓRGÃOS-ALVOS	GÊNEROS DE CIANOBACTÉRIAS ²
Peptídeos Cíclicos		
Microcystinas (MCYS)	Fígado	<i>Microcystis, Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Nostoc, Hapalosiphon, Anabeanopsis</i>
Nodularinas	Fígado	<i>Nodularia</i>
Alcalóides		
Anatoxina-a (ANTX)	Sinapse nervosa	<i>Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Aphanizomenon</i>
Anatoxina-a (s) (ANTX-s)	Sinapse nervosa	<i>Anabaena</i>
Aplisiatoxinas	Pele	<i>Lyngbya, Schizothrix, Planktothrix (Oscillatoria)</i>
Cilindrospermopsina (CYN)	Fígado ³	<i>Cylindrospermopsis, Aphanizomenon, Umezakia</i>
Lingbiatoxina-a	Pele, trato do gastro-intestinal	<i>Lyngbya</i>
Saxitoxinas (STXs)	Axônios nervosos	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindrospermopsis</i>
Lipopolissacarídeos (LPS)	Potencial Irritante; afeta qualquer tecido exposto	Todas

¹ Muitas variantes estruturais podem ser conhecidas para cada grupo de toxina.

² Não produzido por todas as espécies do gênero particular.

³ Todas as células da espécie tóxicas causam danos nos tecidos, incluindo danos ao rim e tecidos linfóides.

Fonte: Sivonen e Jones, 1999.

3.4.3. Problemas Causados pela Presença de Cianobactérias em Estações de Tratamento de Águas (ETA's)

A presença de algas nos mananciais de abastecimento modifica a qualidade da água a ser tratado, o que prejudica a operação das ETA's. Contudo, as cianobactérias são o tipo de alga que mais despertam preocupação, pois representam riscos à saúde da população – devido à possibilidade da existência de cianotoxinas dissolvidas nas águas.

Segundo Di Bernardo (1995), a presença de cianobactérias em estações de tratamento de água pode causar problemas operacionais em várias etapas de tratamento, dentre os quais pode-se citar: (a) dificuldade de coagulação e floculação; (b) baixa eficiência do processo de sedimentação; (c) colmatação dos filtros; e (d) aumento da necessidade de produtos para a desinfecção.

A Figura 3.1 apresenta alguns gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas freqüentemente encontradas em ecossistemas aquáticos continentais.

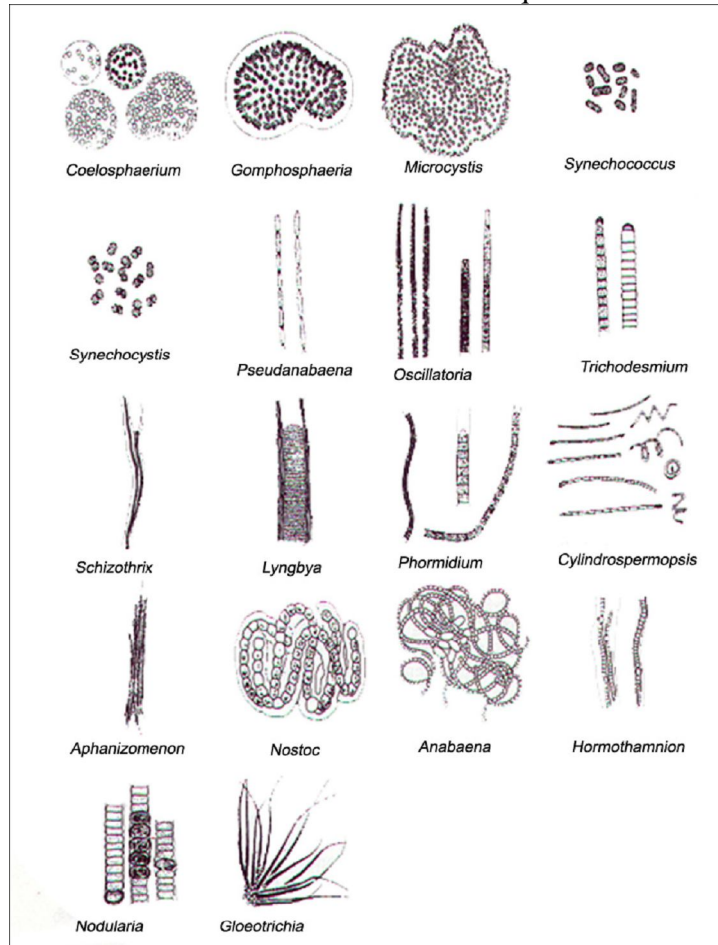


Figura 3.1 - Gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas freqüentemente encontradas em ecossistemas aquáticos continentais. FUNASA, 2003.

3.5.Filtro Autolimpante

3.5.1. Filtro Astrasand

A filtração *Astrasand*, de contínua purificação de água, foi desenvolvida para filtrar água de rios, lagos ou outros tipos de água com o objetivo de diminuir as operações de limpeza. O filtro autolimpante é utilizado para tratamento de água potável, esgotos sanitários e efluentes industriais (ASTRASAND DO BRASIL, 2006).

OPERAÇÃO

A Figura 3.2 mostra o funcionamento do Filtro Astrasand Autolimpante.

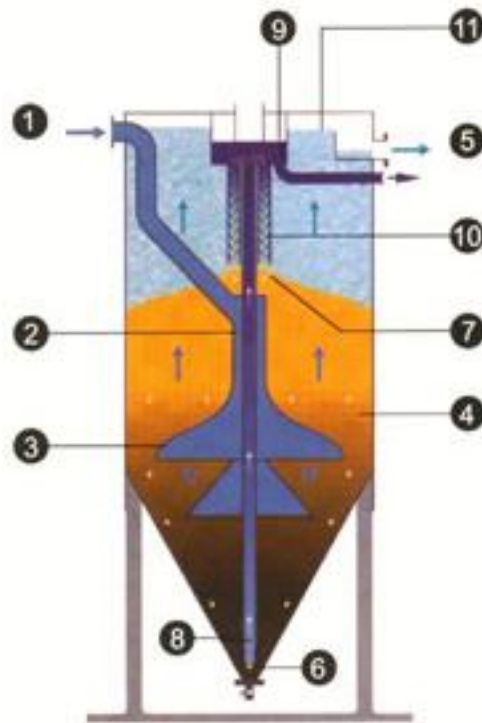


Figura 3.2 - Funcionamento de um Filtro Astrasand Autolimpante.
Astrasand do Brasil, 2006

A Água

A água a ser filtrada é levada ao filtro pelo duto de alimentação (1). Em seguida, é introduzida no leito de filtragem (4) através do duto de abastecimento (2) e dos distribuidores (3).

A água é purificada enquanto flui para a parte superior através do filtro e o filtrado é descartado pela parte superior do mesmo (5).

A Areia

O leito de filtragem move-se continuamente para baixo, enquanto que o fluxo da água é ascendente. A areia suja (6) é separada do leito de filtragem e lavada, em seguida o que é reposta na parte superior do leito de areia (7).

O Ar

A circulação da areia está baseada no princípio de ascensão do ar, forçando a mistura da areia suja com a água ascendente através de um duto central (8). O intenso movimento por atrito separa as impurezas das partículas de areia. No topo do duto, o ar é liberado e a água suja descartada (9). A areia decanta no "lavador".

O Lavador

O lavador (10) é o dispositivo hidráulico posicionado próximo ao duto com ar. As partículas de areia caem pelo "lavador", onde são completamente lavadas por pequena quantidade de filtrado, fluindo através dele em contracorrente.

O fluxo de água filtrada é gerado pela diferença de descarte entre o filtrado (11) e o efluente (9).

Devido à semelhança entre o filtro Astrasand e a filtração direta, optou-se por trabalhar com esse tipo de filtro.

UTILIZAÇÃO DO FILTRO ASTRASAND

Segundo o fornecedor – Astrasand do Brasil (2007b) – diferentes modelos de filtro têm sido utilizados com sucesso em várias cidades do Sul do País. A seguir, são apresentados alguns resultados dessas utilizações. Vale salientar que as informações foram fornecidas pelo fabricante do filtro.

No estado de Santa Catarina, na cidade de Balneário Camboriú desde setembro de 1999, há um sistema de tratamento de água mineral de fonte e poços artesianos que utiliza um filtro Astrasand AS 070, com uma vazão de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Nesse sistema, utiliza-se ozônio para oxidar algas, sulfeto, ferro e manganês. A remoção de cor, turbidez, sulfeto, ferro e manganês é de 100%.

Na cidade de Jaraguá do Sul (SC), utiliza-se um filtro Astrasand AS 500 para o abastecimento de água de um bairro do município. A vazão de água superfície (cascata) é de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e a remoção de turbidez é de cerca de 98%. Em julho de 2001, também na cidade de Jaraguá do Sul, instalou-se filtro Astrasand AS 500 para tratar $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de água superficial para uso industrial na produção têxtil. O sulfato de alumínio é utilizado como coagulante e a soda como alcalinizante. Nesse sistema a remoção de turbidez é de cerca de 99%.

No estado de Santa Catarina, na cidade de Itajaí, desde dezembro de 2000, está em operação um filtro Astrasand AS 300 com vazão máxima de $35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ para tratamento de água de superfície (cascata). Nesse sistema, é utilizado sulfato de alumínio como coagulante e hipoclorito de sódio para o processo de desinfecção. A remoção de turbidez e cor é de cerca de 99% e 97,5%, respectivamente.

Na cidade de Itapoá (SC), dois filtros Astrasand AS 500 com vazão máxima de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ estão em operação para tratar a água do Rio Saí-Mirim. Nesse sistema, utiliza-se cal como alcalinizante, sulfato de alumínio como coagulante e hipoclorito de sódio como desinfetante e juntamente aos filtros, está instalado um Astraseparator para tratamento da água residual do equipamento. Nesse sistema, a remoção de turbidez e cor é de cerca de 97,5% e 95%, respectivamente.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de Estudo

As investigações experimentais foram conduzidas no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP), localizado junto à Estação de Tratamento de Água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), no sul da Ilha de Santa Catarina. Escolheu-se este manancial devido à problemas relacionados à florações de cianobactérias, e, conseqüente desperdício de água com a lavagem frequente dos filtros devido à colmatção provocada pela elevada densidade de algas.

A Figura 4.1 ilustra a localização da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri.



Figura 4.1 - Local de implantação do sistema piloto de filtração direta com filtros autolimpantes.

A bacia hidrográfica da Lagoa do Peri localiza-se no sul da Ilha de Florianópolis (SC) – na área do Parque da Lagoa do Peri (regulamentado pela Lei Municipal 1828, decretada pela Lei nº 091/82), possui uma área de drenagem de aproximadamente 20,3 Km² e é o manancial utilizado pela CASAN para abastecer o sul e a costa leste da cidade de Florianópolis.

A Lagoa é alimentada pelos rios Cachoeira Grande e Ribeirão Grande e mantém contato permanente com o mar, através de um canal de despejo (parte do curso do Rio Sangradouro que foi retificado). No entanto, não é afetada pelas oscilações de maré devido a sua altitude ser mais elevada que o nível do mar, comportando-se como uma lagoa suspensa. Isso facilitou a sua dessalinização, juntamente com o recebimento de fluxos fluviais e águas de escoamento superficial provenientes de precipitações pluviais (RABELO, 2006).

Atualmente, a Lagoa serve tanto para fornecimento de água para consumo, quanto para o desenvolvimento atividades; além disso, a garantia de oportunidades de recreação a torna vulnerável à degradação.

Acredita-se que uma parte considerável dos efluentes gerados pelas atividades desenvolvidas em torno da lagoa é lançada de forma clandestina, diretamente no manancial, contribuindo para alterações das características tróficas.

A grande problemática da Lagoa do Peri é a elevada quantidade de algas que dificulta o tratamento da água, que causa desde obstrução de filtros até a liberação de toxina presentes em algumas espécies.

4.2. Filtro Utilizado

Pelo fato do filtro Astrasand realizar a filtração direta ascendente, optou-se por trabalhar com o filtro Astrasand, modelo AS 080/20 – 0,80 m² de área e 2 m de leito filtrante. Além disso, o filtro é de fácil operação, o que o torna indicado para pequenas comunidades.

A Figura 4.2 apresenta uma foto do filtro autolimpante utilizado na pesquisa.



Figura 4.2 - Foto do filtro autolimpante utilizada na pesquisa.

O filtro Astrasand é um filtro de operação contínua, ou seja, sua operação não precisa ser interrompida para retrolavagem ou limpeza da areia. A água que entra é filtrada percorrendo em fluxo ascendente o leito de areia enquanto esta se move para baixo. Simultaneamente com o processo de filtração, a areia suja é lavada em um lavador de areia e os sólidos suspensos são descarregados com a água de lavagem (ASTRASAND DO BRASIL, 2007a).

A água afluenta entra no filtro pelo tubo de entrada e é distribuída pelos distribuidores. Esta água ascende através do leito de areia e a água filtrada é descarregada do filtro via um extravasor, situado no topo da unidade.

O leito de areia move-se numa direção oposta a da água de abastecimento. A areia suja é extraída da parte inferior do filtro, transportada para cima e limpa no lavador de areia. A areia limpa retorna então ao topo do leito do filtro.

O transporte para cima da areia é produzido por um *airlift*. A parte inferior do *airlift* é alimentada com ar comprimido. O ar ascende junto com a água e a areia suja. A ação do *airlift* separa a sujeira da areia. A mistura ar/água/areia flui para fora no topo do *airlift*. A areia e a água caem no lavador. A areia passa pelo lavador e deposita-se no topo do leito do filtro enquanto a sujeira e a água são descartadas pelo tubo de descarga de água de lavagem. O ar volta para a atmosfera.

O lavador consiste em um cilindro central com um labirinto especialmente desenvolvido. Uma diferença de nível entre a água filtrada e a de lavagem resulta num pequeno fluxo ascendente de água filtrada para o lavador. Desse modo, a areia no lavador é totalmente separada das partículas de sujeira, e a sujeira é descarregada com a água de lavagem.

Na parte inferior do filtro há um cone para distribuição de areia de modo a assegurar que a areia se mova com a mesma velocidade em toda a área do filtro.

4.2.1. Descrição de Funções

4.2.1.1. *Airlift*

O *airlift* é colocado verticalmente dentro do tubo de proteção. A parte inferior localiza-se no fundo do cone do filtro; a parte superior, no lavador de areia, no topo do filtro, acima do nível da areia. Ar comprimido é injetado através da mangueira na câmara (ASTRASAND DO BRASIL, 2007a).

Quando o ar comprimido é injetado na câmara, a coluna de água dentro do tubo é deslocada e uma mistura de ar e água com densidade menor que a água circundante é criada. A pressão estática da água circundante forçará, então, a água para cima pelo tubo. A sucção criada na parte inferior do *airlift* é forte o suficiente para erguer uma mistura de areia e água para o lavador de areia através do tubo do *airlift*.

Quando a areia sai da abertura de descarga do *airlift* e entra no compartimento de maior diâmetro, a velocidade de fluxo decresce de modo que a areia começa a cair através do lavador de areia. Os sólidos suspensos, que são muito menores e de menor densidade que os grãos de areia, são descarregados com a água de lavagem através do cano de saída de água de lavagem. As bolhas de ar voltam para a atmosfera.

As bolhas de ar quase sempre têm uma velocidade tal que causam respingamento. Para prevenir isto, uma capota e uma placa são colocadas acima do *airlift*. Uma caixa de pressão é colocada sobre a capota com força manual e é girada nas aberturas de fixação. A pressão mantém a caixa, a capota e o *airlift* no lugar.

A Figura 4.3 apresenta uma foto do *airlift*.



Figura 4.3 - Foto do *Airlift*.
Astrasand do Brasil, 2007b.

4.2.1.2. Injeção de Ar Comprimido

A injeção de ar comprimido no filtro é feito a partir do *airlift*. O controle da pressão e vazão de ar é feito através de um painel de controle instalado ao lado do filtro (ASTRASAND DO BRASIL, 2007a).

O painel de controle é composto por um filtro de ar com um manômetro, que quando em operação apresenta uma pressão entre 4 e 6 Bar. Na parte exterior do painel há um rotâmetro, com o objetivo de controlar a vazão de ar atuante na lavagem da areia, a vazão de ar deve variar entre 6 e 10 L•(min)⁻¹.

A Figura 4.4 apresenta uma foto do painel de controle.

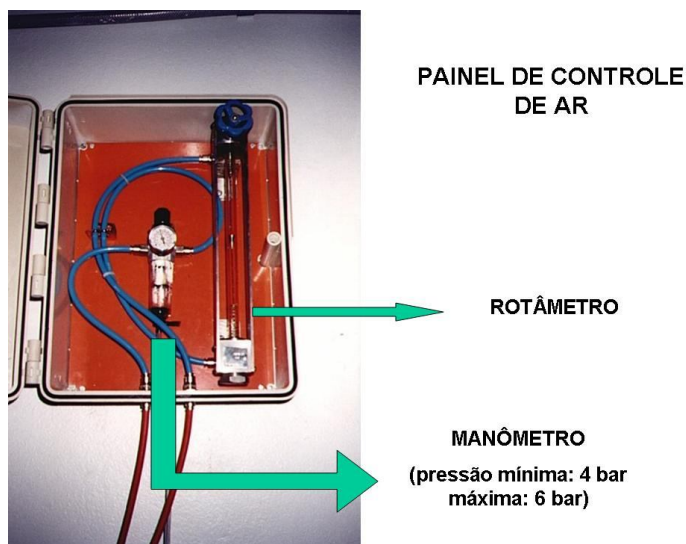


Figura 4.4: Foto do painel de controle.
Astrasand do Brasil, 2007b.

4.2.1.3. Lavador de Areia

O lavador de areia consiste em anéis que criam um labirinto. A parte interna e externa do labirinto é centrada com um anel de suporte, o qual sustenta todo o lavador de areia. Enquanto a areia cai através do labirinto, os grãos de areia são limpos por um fluxo controlado de água de lavagem. Este fluxo é criado por uma diferença de nível entre a superfície filtrada no tanque do filtro e a superfície da água

de lavagem no compartimento de água de lavagem. A diferença no nível força uma pequena proporção de água filtrada para cima pelo lavador de areia (ASTRASAND DO BRASIL, 2007a).

A diferença de nível é pré-determinada durante a fabricação, existindo a possibilidade de ajuste posterior. O ajuste da diferença de nível pode ser realizado manualmente colocando-se uma peça de tubo dentro da saída de água de lavagem. Desse modo, uma diferença de nível é ajustada, e por consequência, uma taxa de água de lavagem ajustada, pode ser mantida. Uma diferença de nível maior resulta num fluxo também maior de água de lavagem. Um fluxo mínimo de água de lavagem deve ser mantido.

A quantidade de areia no labirinto também influencia a taxa de água de lavagem. Alto fluxo de areia significa mais areia no labirinto, maior resistência hidráulica e por consequência menor fluxo de água de lavagem.

A Figura 4.5 apresenta fotos da peça de controle de nível de água de lavagem.



Figura 4.5: Fotos da peça de controle de nível de água de lavagem.

4.3. Desenvolvimento das Etapas Pesquisa

A pesquisa se desenvolveu em três etapas, a seguir descritas:

4.3.1. Etapa 1: Estudo do Sistema Piloto.

Nesta etapa, alguns parâmetros foram estabelecidos, dentre os quais:

- taxa do filtro autolimpante: Sendo a vazão média e a área do filtro, respectivamente, de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e $0,80 \text{ m}^2$, a taxa de filtração ascendente estabelecida foi de aproximadamente $150 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.

4.3.2. Etapa 2: Estudo em Bancada (Jartest)

Nesta etapa determinou-se as dosagens iniciais de Sulfato de Alumínio (SA) e o pH de coagulação a ser empregados posteriormente nos ensaios em contínuo no piloto de filtração autolimpante.

Tabela 4.2 - Parâmetros de qualidade da água, método analítico e equipamentos utilizados nos ensaios de coagulação*.

PARAMETROS	MÉTODOS ANALÍTICOS	EQUIPAMENTOS
Cor (uH)	Platinum – Cobalt -S.M	Espectrofotômetro** $\lambda = 455 \text{ nm}$
Turbidez (uT)	Nefelométrico	Turbidímetro***
pH	Potenciométrico	pHmetro HACH Senslon
Temperatura (°C)	Potenciométrico	pHmetro HACH Senslon

*As análises se baseiam na 20ª edição do *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

** HACH/DR2010; *** HACH/2100AN.

Nos ensaios de coagulação utilizou-se um equipamento de *jartest* acoplado a filtros de laboratório de areia (FLA's), apresentado na Figura 4.6.



Figura 4.6 - Equipamento de *Jartest* utilizado.
Melo Filho, 2006.

As características do equipamento de *jartest* utilizado são:

- modelo LDB 310, fabricado por Nova Ética;
- 6 jarros com capacidade individual de 2 L;
- extração de amostras se dá por sistema basculamento simultâneo;
- gradientes de velocidade variável de 10 a 2000s^{-1} (20 a 600 rpm);
- rotação controlada por tacômetro digital;
- paletas retangulares com sistema de haste livre que permite isolar um jarro sem parar os demais.

As características dos FLAs são:

- granulometria da areia variando entre $0,42 - 0,84$ e tamanho efetivo igual a $0,5\text{mm}$;
- altura da camada de areia de 15cm ;
- carga hidráulica para filtragem constante e igual a 11cm .

4.3.2.1. Produtos Químicos Utilizados no Ensaio de *Jartest*

Tanto nos ensaios de coagulação em *jartest* e no decorrer do experimento foram utilizados os seguintes produtos químicos:

COAGULANTES

- Sulfato de Alumínio comercial (SA): O SA utilizado na pesquisa será o mesmo que se utiliza na ETA da Lagoa do Peri. O lote de SA apresenta concentrações de Al_2O_3 da ordem de 14,5%. As soluções foram preparadas em concentração de 5% ($\text{massa}\cdot\text{massa}^{-1}$) com água destilada.

ALCALINIZANTE

- Cal hidratada comercial: A cal utilizada na pesquisa foi a mesma que se utiliza em uso na ETA da Lagoa do Peri. As soluções foram preparadas em concentração de 0,5% ($\text{massa}\cdot\text{massa}^{-1}$) com água destilada da ETA.

ACIDIFICANTE

- Ácido sulfúrico (padrão analítico): As soluções foram preparadas em concentrações de 0,05N (Normal).

4.3.3. Etapa 3: Ensaio Contínuo

Subdividiu-se em duas fases:

4.3.3.1. Fase 1

Nessa fase, a água bruta foi captada do manancial eutrofizado, através da captação de água bruta existente, em seguida essa água passou pelo processo de filtração autolimpante sem adição do coagulante específico.

A Figura 4.7 e 4.8 apresentam o organograma e croqui, respectivamente, da Fase 1, Etapa 3 da pesquisa.

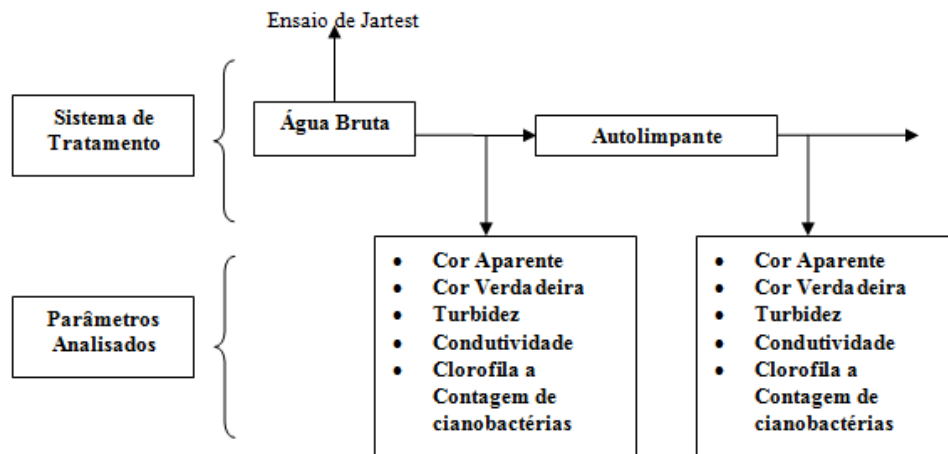


Figura 4.7 - Organograma da Fase 1 da Etapa 3 da pesquisa.

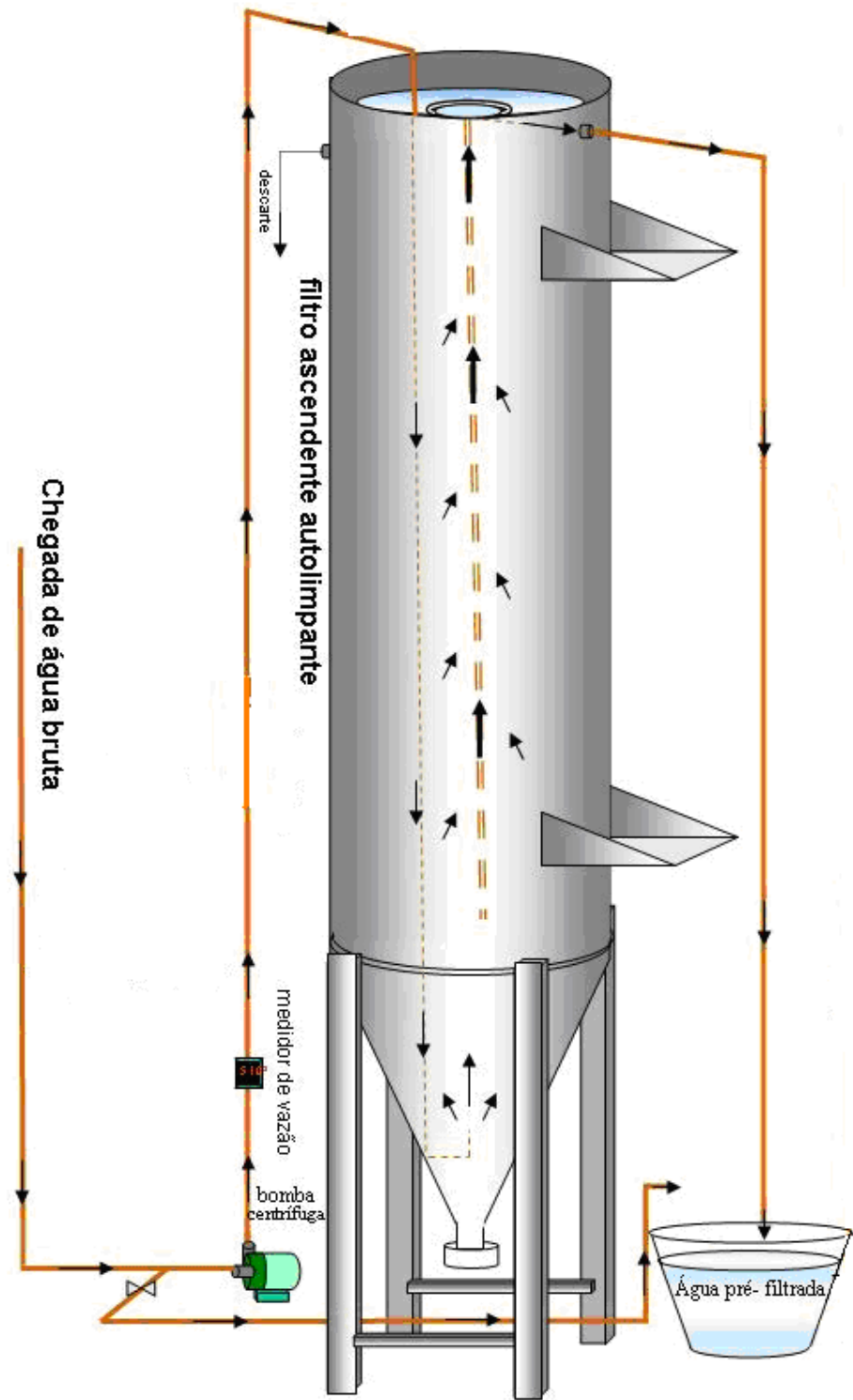


Figura 4.8 - Croqui da Fase 1 da Etapa 3 da pesquisa.

4.3.3.2. Fase 2

Essa fase foi semelhante à anterior; o diferencial é que, nesta fase, a água passou pelo filtro autolimpante com o coagulante específico.

A Figura 4.9 e 4.10 apresentam o organograma e croqui da Fase 2, Etapa 3 da pesquisa.

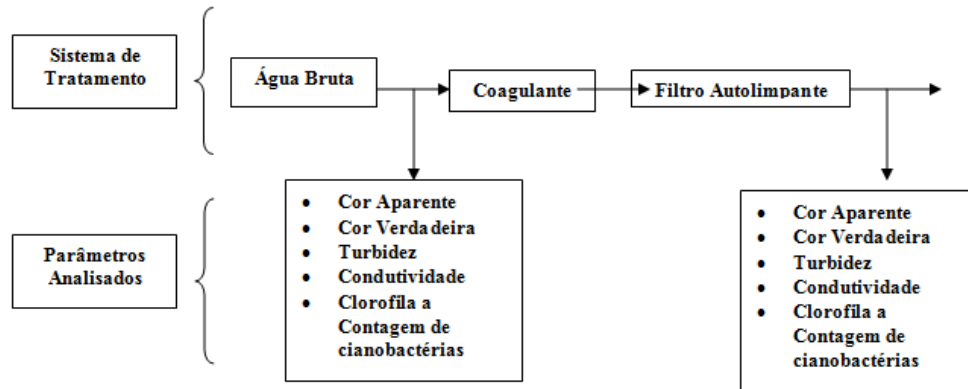


Figura 4.9 - Organograma da Fase 2 da Etapa 3 da pesquisa.

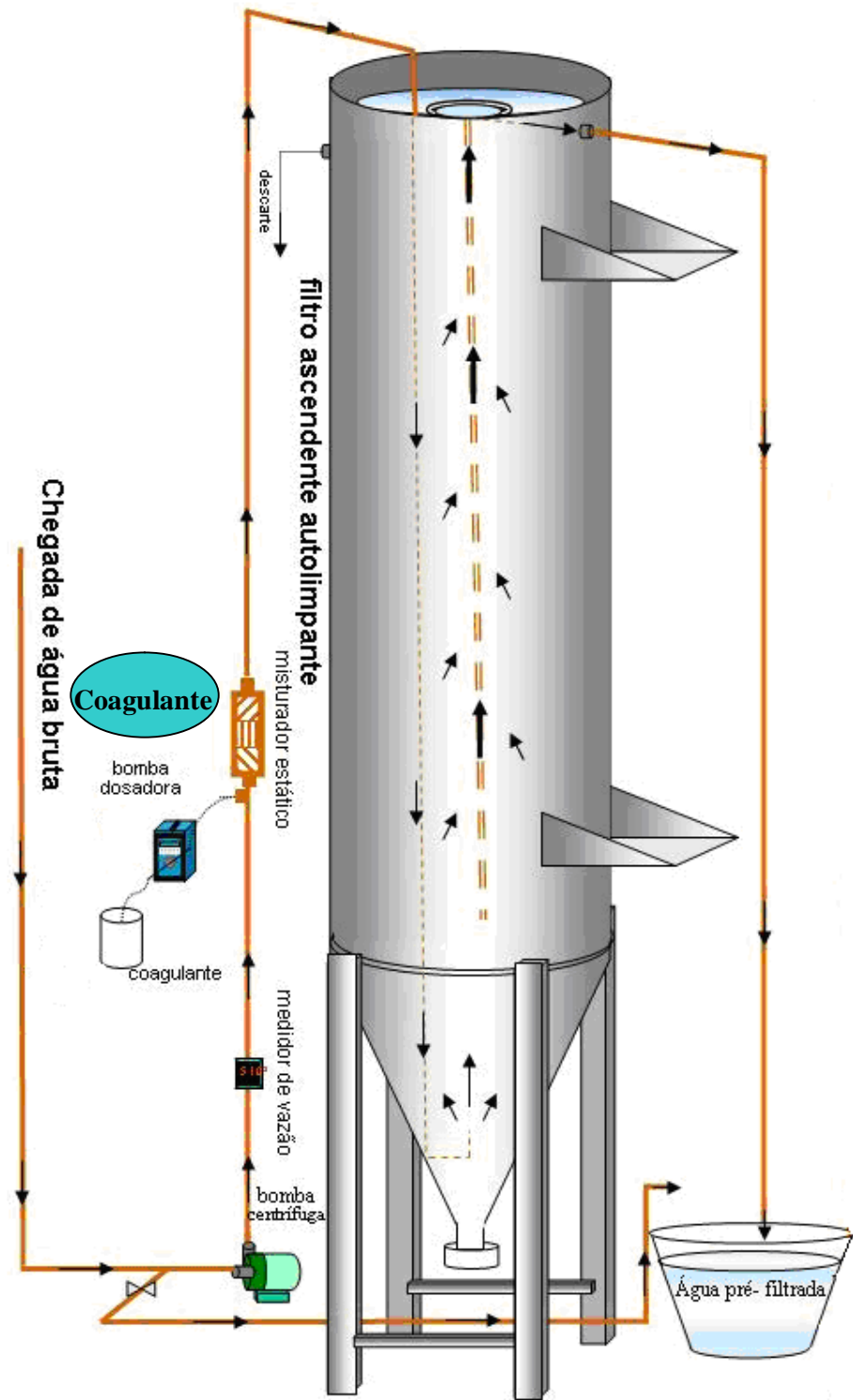


Figura 4.10 - Croqui da Fase 2 da Etapa 3 da pesquisa.

4.4. Amostragem

As amostras coletadas foram as seguintes: água bruta (AB); efluente do filtro autolimpante da primeira fase (FAL1); efluente do filtro autolimpante da segunda fase (FAL2); sendo acompanhada também a duração da carreira de filtração.

A Tabela 4.2 apresenta os parâmetros de qualidade da água analisados, métodos analíticos, equipamentos e frequência de coletas em cada ponto de amostragem, nas duas fases da Etapa 3.

Tabela 4.2 - Relação dos parâmetros de qualidade da água, metodologias, equipamentos utilizados e frequência de coletas em cada ponto de amostragem na avaliação das seqüências de tratamento*.

PARAMETROS	MÉTODOS ANALÍTICOS	EQUIPAMENTOS	PONTOS DE AMOSTRAGEM		
			AB	FAL1	FAL2
Clorofila – a	Extração em etanol a 95% com medida de absorbância em $\lambda = 665$ nm	Espectrofotômetro**	Diária	Diária	Diária
Cor aparente	Platinum – Cobalt - S.M	Espectrofotômetro*** $\lambda = 455$ nm	Diária	Diária	Diária
Cor verdadeira	Platinum – Cobalt - S.M, com filtragem a vácuo em membrana 0,45 μ m	Espectrofotômetro*** $\lambda = 455$ nm	Diária	Diária	Diária
Temperatura		pHgâmetro	Diária	Diária	Diária
pH		pHgâmetro	Diária	Diária	Diária
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro****	Diária	Diária	Diária
Condutividade	Método da resistência elétrica	Condutivímetro HACH	Diária	Diária	Diária
Contagem de cianobactérias	Contagem UTERMÖHL – HASLE (1978)	Microscópio invertido LEITZ	0,75m *****	0,75m *****	0,75m *****

*As análises se baseiam na 20ª edição do *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

** HACH/DR-4000; *** HACH/DR2010; **** HACH/2100AN; ***** 0,75m de Perda de Carga no Filtro Ascendente.

4.5. Procedimento para a Operação do Filtro Autolimpante

O primeiro passo é encher o filtro com água bruta. Quando começar a sair água tanto na água de lavagem quando no tubo de água filtrada, liga-se o compressor para que este forneça ar para o filtro (ASTRASAND DO BRASIL, 2008).

Para uma boa operação do equipamento, a vazão de entrada de água deve ser de aproximadamente $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, sendo $4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na saída de água tratada e $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de água de lavagem. A vazão de água de lavagem deve ser a menor possível, minimizando assim, o desperdício de água tratada.

O manômetro deve ser regulado para cerca de 5 bar e o rotâmetro entre 6 e $10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. Para regular a velocidade de areia, ou seja, a vazão do rotâmetro utiliza-se um tubo de PVC com escala, o qual deve ser colocado dentro do filtro, de forma que penetre alguns centímetros na areia. Em seguida, cronometra-se 10 minutos e a “régua” deve deslocar-se sozinha e para baixo por, no máximo, 5 cm. Caso essa variação seja maior ou menor, deve-se regular a vazão de ar no rotâmetro até atingir a vazão necessária.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. 1ª Etapa – Estudo do Sistema Piloto

Antes de iniciar a parte experimental do trabalho foram feitos ajustes hidráulicos a fim de obter o melhor funcionamento do equipamento, como o controle no nível da saída da água de lavagem com o objetivo de evitar ao máximo o desperdício da água captada e alterações na vazão de ar injetado para não haver colmatação do leito filtrante.

5.2. 2ª Etapa – Ensaios de *Jartest*

Os ensaios de coagulação foram realizados variando-se em cada jarro a dosagem de coagulante e o pH de coagulação com adição ou não de alcalinizante ou acidificante.

Após a adição do SA, as amostras foram agitadas a uma velocidade de 1100 S^{-1} por 30 segundos e para não haver a quebra dos flocos diminuiu-se a velocidade para 130 S^{-1} . Através do dispositivo para coleta de amostras, drenava-se diretamente a água de cada jarro para o seu FLA correspondente, os primeiros 50 mL filtrados foram descartados e as análises foram realizadas com os 100 mL seguintes.

Avaliou-se a qualidade da água filtrada em relação à remoção de cor e turbidez, e ao comportamento do pH e temperatura, de acordo com a Tabela .

Com os valores obtidos montou-se um diagrama de coagulação para a água bruta com o objetivo de escolher o melhor resultado segundo o binômio: dose de coagulante *versus* pH de coagulação. A planilha com os resultados obtidos no ensaio de coagulação (sulfato de alumínio) são apresentados na Tabela 5.2. A partir desses resultados, elaboraram-se os diagramas de coagulação apresentados nas Figuras 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 - Resultados dos Ensaios de *Jartest*

SULFATO DE ALUMÍNIO					
pH	Concentração de SA (mL/L)	Turbidez (uT)	COR (uH)		
5,81	12,50	0,93	12		
5,72	15,00	0,88	11		
5,72	17,50	0,78	10		
5,75	20,00	0,63	4		
5,51	22,50	0,86	7		
5,41	25,00	0,68	2		
5,38	20,00	0,76	10	0,50	
5,22	20,00	0,9	11	1,00	
5,03	25,00	0,96	12	0,50	
4,94	25,00	0,96	12	1,00	
4,34	22,50	0,83	14	0,50	
4,33	22,50	1,01	17	1,00	ÁCIDO (mL/L)
4,26	22,50	1,21	20	1,50	
5,90	20,00	0,72	10	0,50	
6,02	20,00	0,93	12	1,00	
5,72	25,00	0,77	11	0,50	
5,67	25,00	0,69	7	1,00	
5,38	22,50	0,69	11	0,50	
5,36	22,50	0,83	13	1,00	CAL (mL/L)
5,30	22,50	1,06	16	1,50	

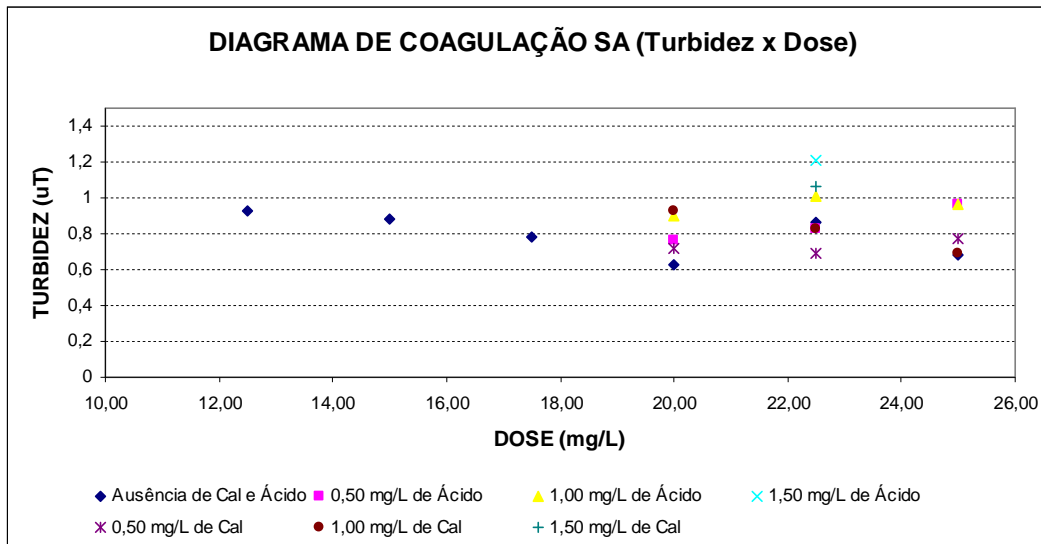


Figura 5.1 – Diagrama de Coagulação SA (Turbidez x Dose)

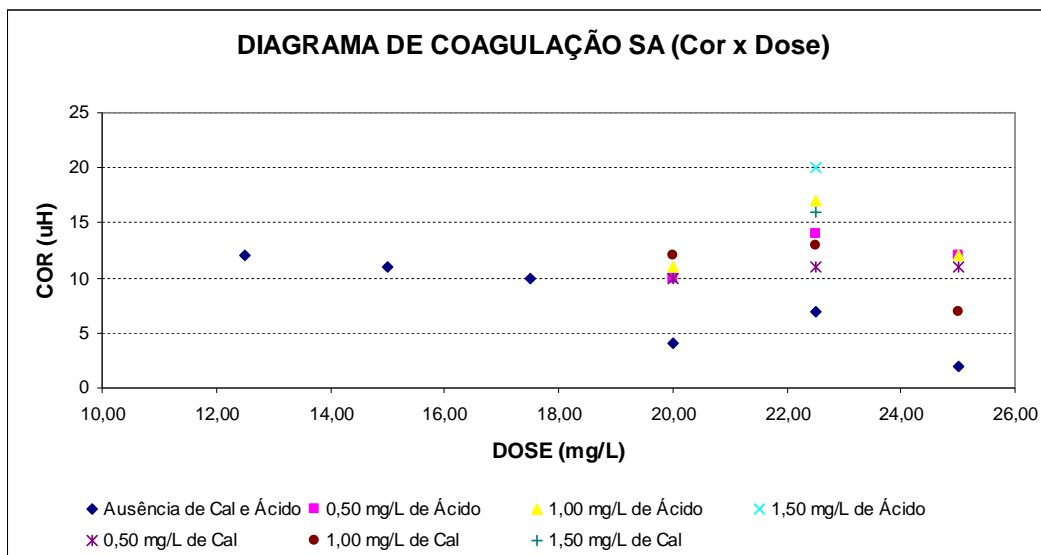


Figura 5.2 – Diagrama de Coagulação SA (Cor x Dose)

A adição de dosagens de ácido resultou em um pH muito baixo e valores de turbidez maior do que 1UT e a adição de cal não alterou significativamente as amostras. Como se procura obter um tratamento de menor custo e simplificado o possível, optou-se por escolher a não utilização de produtos químicos para correção de pH, visto que a faixa ótima se encontra fora da utilização dos mesmos. Por isso, a dosagem de coagulante utilizada na etapa de ensaio contínuo foi de 20 mL/L com o pH de 5,75.

5.3. 3ª Etapa – Ensaio Contínuo

5.3.1. Fase 1 – Sem adição de Coagulante

Esta fase do trabalho iniciou-se dia 04.05.09 e foi finalizada dia 06.05.09, completando 53 horas de carreira de filtração. O resumo dos resultados é apresentado na Tabela 5.3, na Figura 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6, a representação gráfica de alguns resultados.

Tabela 5.3 - Resumo dos Resultados da Fase 1

Resultados Fase 1						
Parâmetros	AB	FAL	AB	FAL	AB	FAL
Cor Verdadeira (uH)	20	22	10	9	12	11
Cor Aparente (uH)	64	59	60	54	65	54
Turbidez (uT)	3,88	3,19	3,82	3,59	4,98	3,45
pH	6,38	6,52	6,93	6,72	6,19	6,03
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	31	31	32	29	31	32
Condutividade (µS.L ⁻¹)	62	62	64	58	62	64
Clorifila-a (µg.L ⁻¹)	1,51	1,25	1,46	1,58	2,96	2,19
Temperatura	23,3	23,8	23,7	23,6	23,2	23,3
Contagem de algas cianobactérias (ind.L ⁻¹)	-	-	31850	25100	-	-
Tempo de Carreira de Filtração (h)	1		25		53	

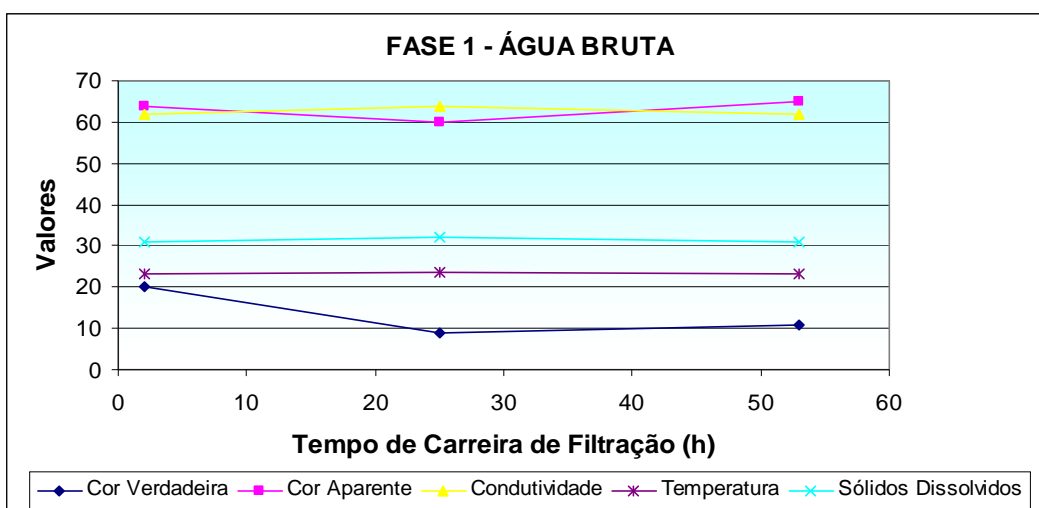


Figura 5.3 - Resumo dos Resultados da Fase 1 (cor aparente, cor verdadeira, condutividade, temperatura, sólidos dissolvidos).

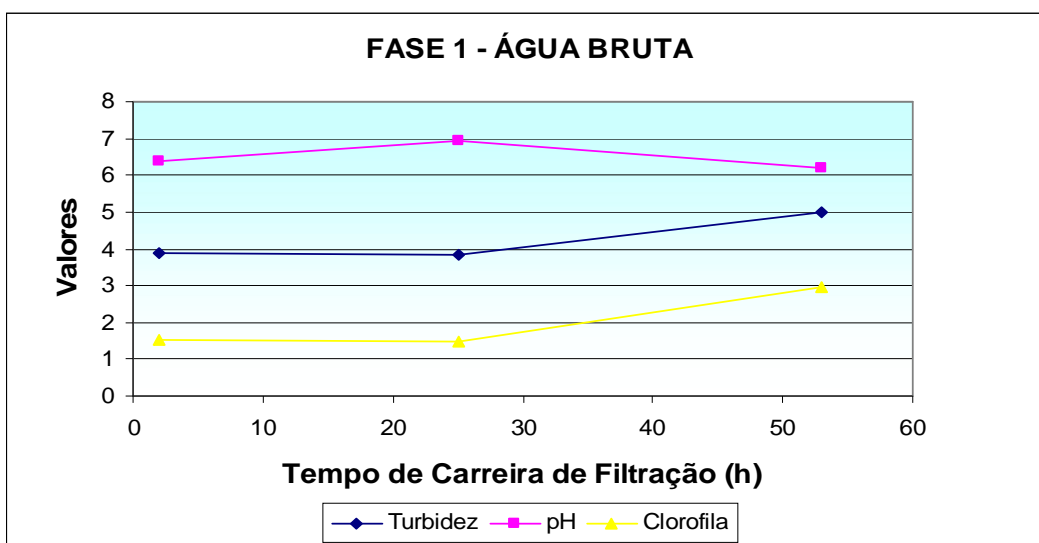


Figura 5.4 - Resumo dos Resultados da Fase 1(turbidez, pH, clorofila-a)

A partir dos gráficos de análise de água bruta pode-se verificar que os parâmetros com maior variação dos valores são clorofila-a, pH, turbidez e cor verdadeira. O mesmo pode ser observado com os valores obtidos nas análises do filtro autolimpante.

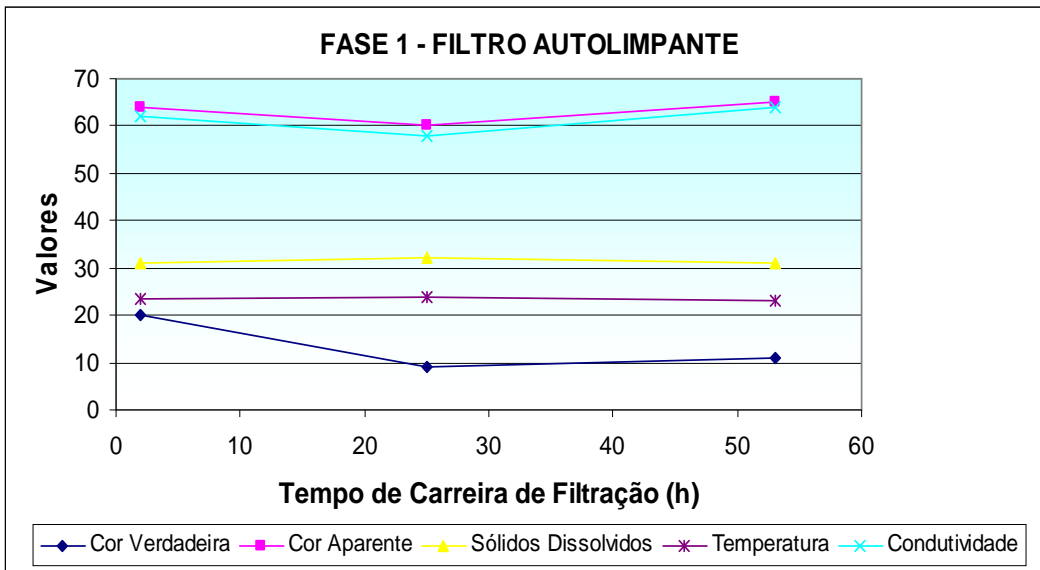


Figura 5.5 - Resumo dos Resultados da Fase 1 (cor verdadeira, cor aparente, sólidos dissolvidos, temperatura, condutividade)

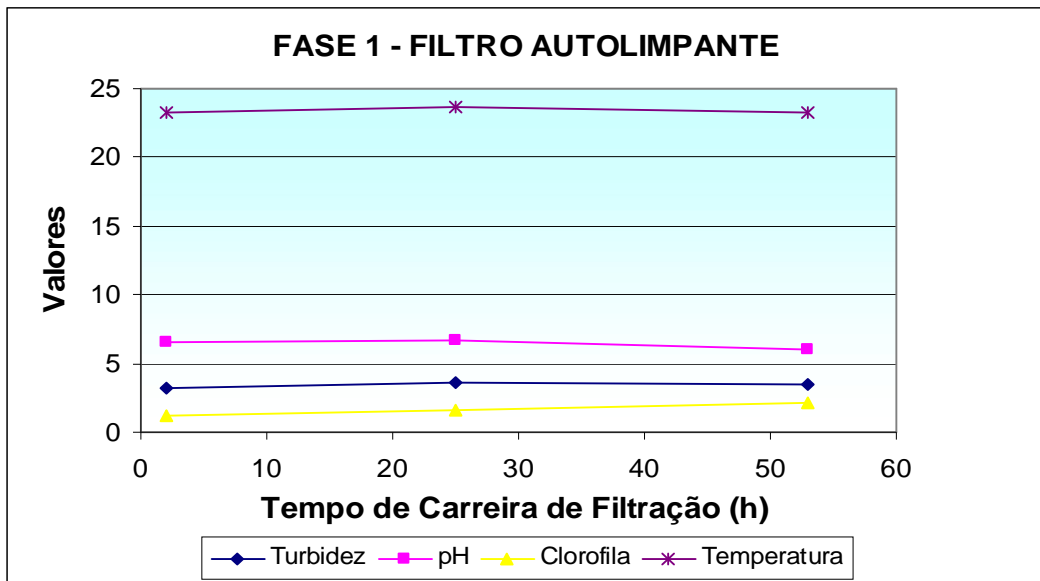


Figura 5.6 - Resumo dos Resultados da Fase 1 (turbidez, pH, clorofila-a, temperatura)

Os dados completos são apresentados no Apêndice 1 e 2.

Para comparação dos valores pré e pós tratamento calculou-se a porcentagem de remoção de cor verdadeira, cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos, clorofila-a e cianobactérias. A porcentagem de remoção da Fase 1 é apresentada na Tabela 5.4 e a representação gráfica na Figura 5.7.

Tabela 5.4 – Porcentagem de remoção da Fase 1.

Tempo de Carreira de Filtração (h)	FASE 1 - % DE REMOÇÃO					
	Cor Verdadeira (uH)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	Sólidos Dissolvidos (mg.L-1)	Clorofila-a (µg.L-1)	Contagem de Algas Cianobactérias (ind.L-1)
2	-10%*	8%	18%	-2%*	0%	-
25	-11%*	10%	6%	3%	9%	9%
53	-9%*	17%	31%	3%	-3%*	-

* Os resultados negativos representam o aumento no valor desses parâmetros

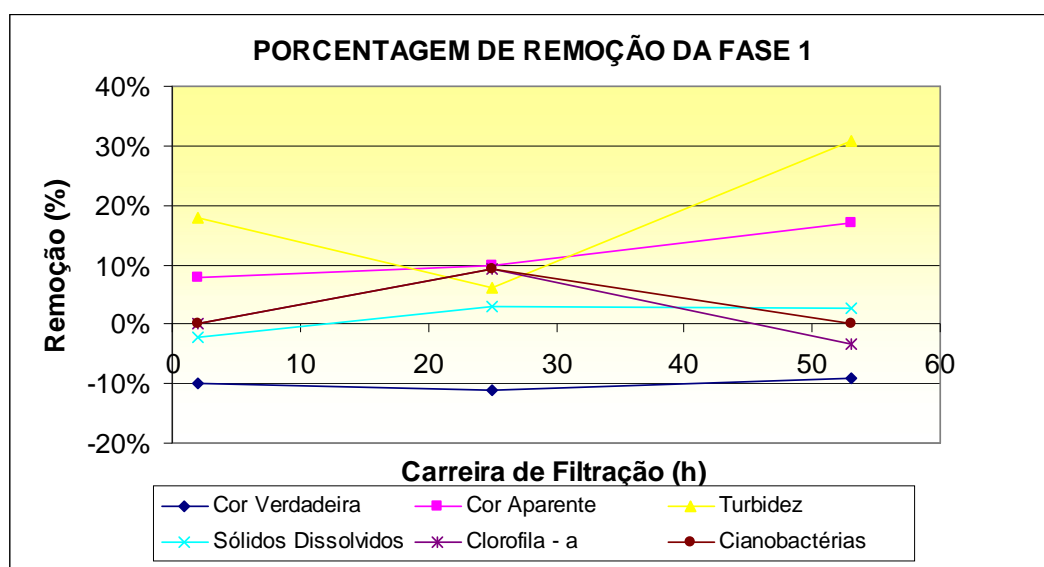


Figura 5.7 – Porcentagem de Remoção Fase 1

Durante a realização da Fase 1 do trabalho, percebeu-se aleatoriedade dos resultados, não houve remoção de cor verdadeira, pelo contrário, houve aumento. Em contrapartida, a análise de cianobactérias obteve resultado positivo quanto a diminuição da quantidade dessas algas. Apesar da remoção de turbidez, o único parâmetro que obteve remoção crescente durante a carreira foi a cor aparente. Os sólidos dissolvidos e a clorofila-a somente sofreram remoção na segunda e terceira análises respectivamente.

5.3.2. Fase 2 – Com adição de Coagulante

Esta etapa do trabalho iniciou-se dia 25.03.09 e foi finalizada dia 06.04.09, completando 284 horas de carreira de filtração. O resumo dos resultados é apresentado na Tabela 5.5, 5.6 e 5.7, na Figura 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13 a representação gráfica de alguns resultados.

Tabela 5.5 – Resumo dos resultados da Fase2.

Parâmetros	Resultados 1 Fase 2					
	AB	FAL	AB	FAL	AB	FAL
Cor Verdadeira (uH)	7	3	9	3	2	1
Cor Aparente (uH)	57	11	35	9	63	4
Turbidez (uT)	6,09	1,09	4,26	0,78	5,29	0,75

pH	6,48	4,9	6,82	5,35	6,76	6,47
Sólidos Dissolvidos (mg.L⁻¹)	29	35	34	36	32	37
Condutividade (µS.L⁻¹)	58	70	68	72	64	74
Clorifila-a (µg.L⁻¹)	1,26	0,71	1,94	0,25	1,99	0,31
Temperatura	26,3	26,2	27,9	27,1	26,2	25,9
Contagem de algas cianobactérias (ind.L⁻¹)	-	-	-	-	-	-
Tempo de Carreira de Filtração (h)	1		48		88	

Tabela 5.6 – Resumo dos resultados da Fase2.

Resultados 2 Fase 2						
Parâmetros	AB	FAL	AB	FAL	AB	FAL
Cor Verdadeira (uH)	9	4	11	1	9	2
Cor Aparente (uH)	62	17	52	4	57	7
Turbidez (uT)	4,8	1,04	4,51	0,81	4,76	0,69
pH	6,7	5,49	6,6	4,72	6,65	5,32
Sólidos Dissolvidos (mg.L⁻¹)	38	38	36	36	35	37
Condutividade (µS.L⁻¹)	76	76	72	72	70	74
Clorifila-a (µg.L⁻¹)	1,53	0,65	1,67	0,35	1,81	0,42
Temperatura	28,1	27,9	28,6	28,3	26,6	26,5
Contagem de algas cianobactérias (ind.L⁻¹)	-	-	-	-	-	-
Tempo de Carreira de Filtração (h)	120		144		164	

Tabela 5.7 – Resumo dos resultados da Fase2.

Resultados 3 Fase 2								
Parâmetros	AB	FAL	AB	FAL	AB	FAL	AB	FAL
Cor Verdadeira (uH)	9	1	7	-	9	4	7	4
Cor Aparente (uH)	65	9	57	6	57	10	55	10
Turbidez (uT)	4,99	0,74	4,31	0,73	3,96	0,7	3,64	0,78
pH	6,64	5,72	6,74	5,53	6,68	5,73	6,56	5,2
Sólidos Dissolvidos (mg.L⁻¹)	31	36	34	37	34	37	34	37
Condutividade (µS.L⁻¹)	62	72	68	74	68	74	68	74
Clorifila-a (µg.L⁻¹)	1,08	0,44	1,71	0,36	2,26	0,29	1,9	0,34
Temperatura	25,4	25,5	26,8	26,5	27,9	27,5	26,3	26,3
Contagem de algas cianobactérias (ind.L⁻¹)	26550	2050	-	-	-	-	-	-
Tempo de Carreira de Filtração (h)	192		216		240		259	

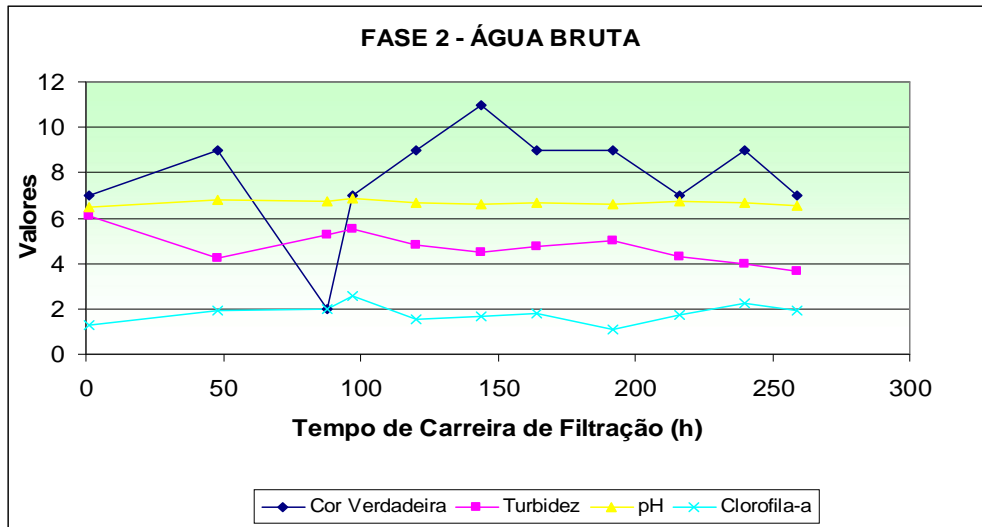


Figura 5.8 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (cor verdadeira, turbidez, pH, clorofila-a).

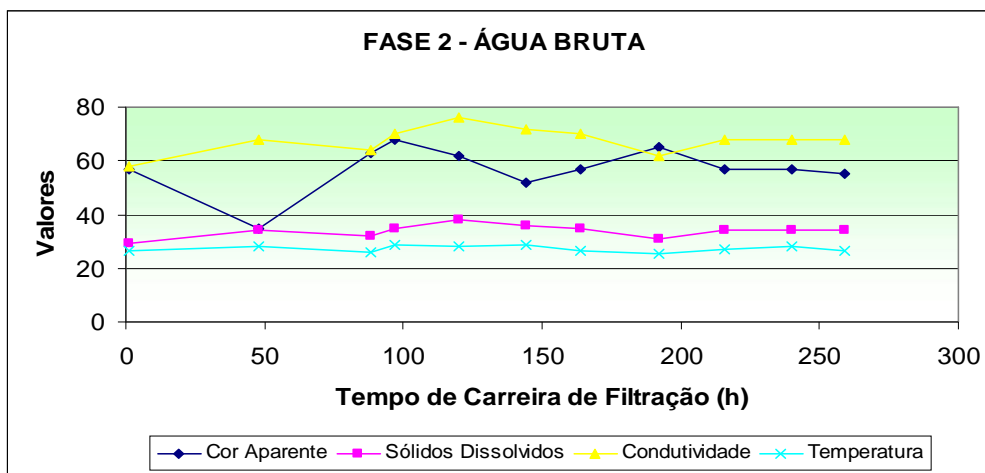


Figura 5.9 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (cor aparente, sólidos dissolvidos, condutividade, temperatura).

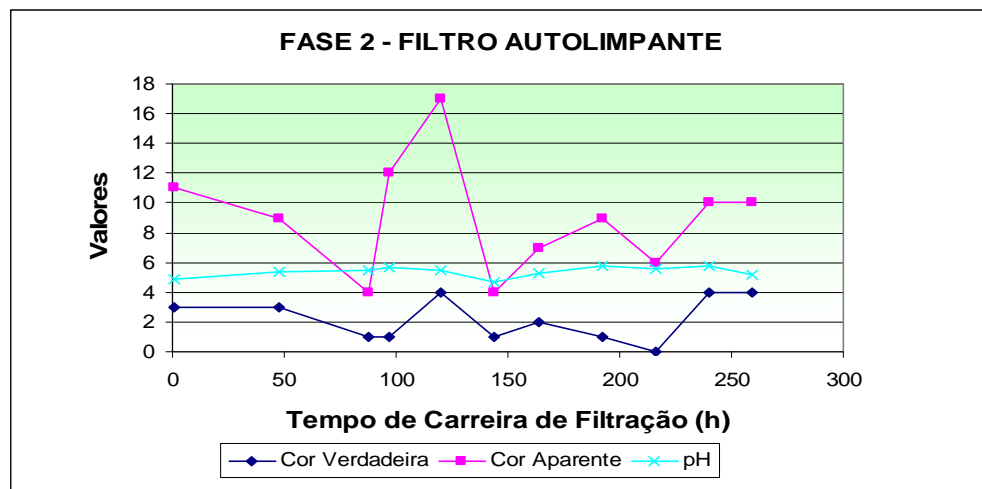


Figura 5.10 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (cor verdadeira, cor aparente, pH).

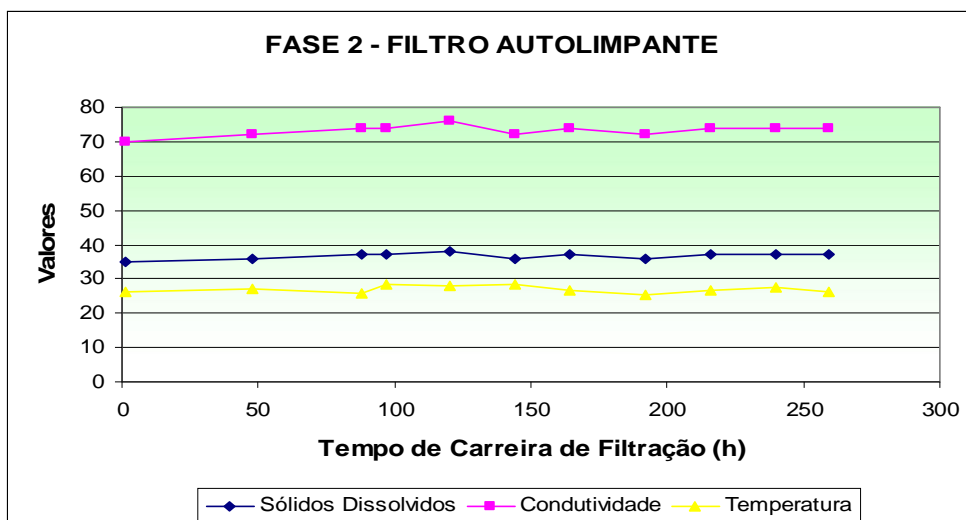


Figura 5.11 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (sólidos dissolvidos, condutividade, temperatura).

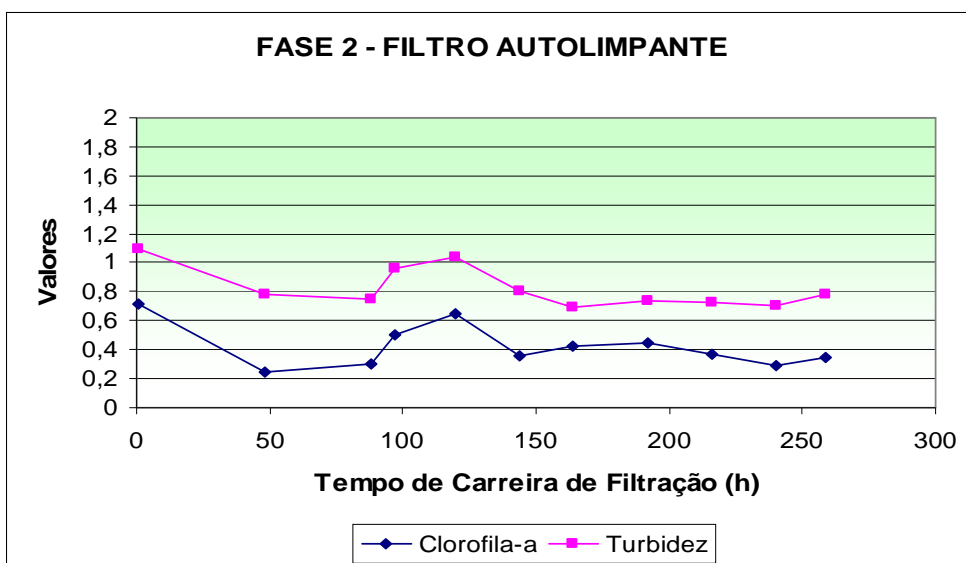


Figura 5.12 - Resumo dos Resultados da Fase 2 (clorofila-a, turbidez).

A partir dos gráficos de análise de água bruta pode-se verificar que os parâmetros com maior variação dos valores são cor verdadeira e cor aparente. O mesmo pode ser observado com os valores obtidos nas análises do filtro autolimpante.

Os dados completos são apresentados nos Apêndices 3 e 4.

Assim como para a Fase 1, para comparação dos valores pré e pós tratamento na Fase 2, calculou-se a porcentagem de remoção de cor verdadeira, cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos, clorofila-a e cianobactérias. A porcentagem de remoção da Fase 2 é apresentada na Tabela 5.8 e a representação gráfica na Figura 5.13.

Tabela 5.8 – Resumo dos resultados da Fase2.

Tempo de Carreira de Filtração (h)	FASE 2 - % DE REMOÇÃO					
	Cor Verdadeira (uH)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	Sólidos Dissolvidos (mg.L-1)	Clorofila-a (µg.L-1)	Contagem de Algas Cianobactérias (ind.L-1)
0						
50						
100						
150						
200						
250						
300						

1	57%	81%	82%	-21%	43%	-
48	67%	74%	82%	-6%	87%	-
88	50%	94%	86%	-16%	85%	-
97	86%	82%	83%	-6%	80%	-
120	56%	73%	78%	0%	58%	-
144	91%	92%	82%	0%	79%	-
164	78%	88%	86%	-6%	77%	-
192	89%	86%	85%	-16%	59%	92,3%
216	-	89%	83%	-9%	79%	-
240	56%	82%	82%	-9%	87%	-
259	43%	82%	79%	-9%	82%	-

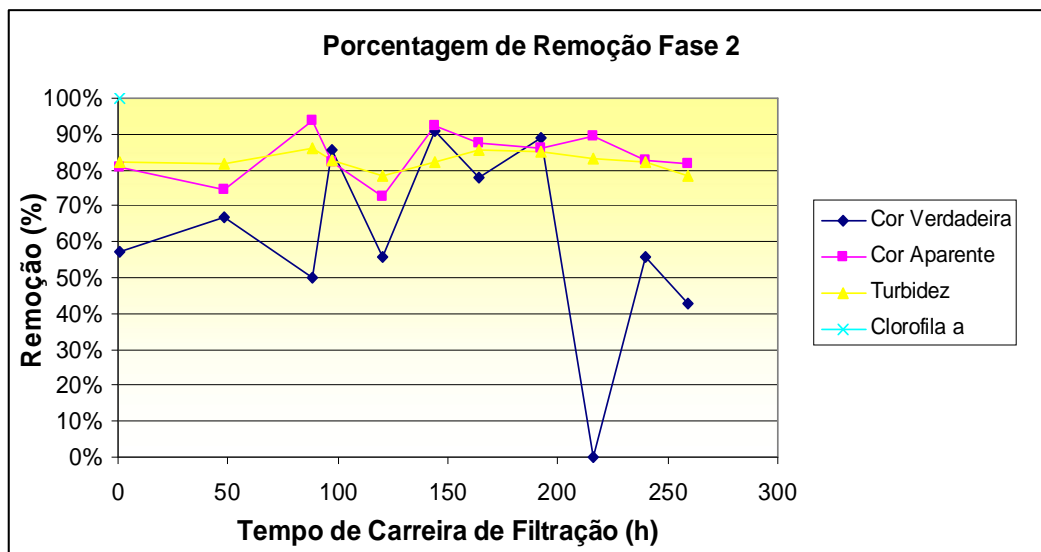


Figura 5.13 – Porcentagem de Remoção da Fase 2.

Durante a realização das análises observou-se a remoção de mais de 50% na maioria dos parâmetros. Somente os sólidos dissolvidos não foram removidos, ao contrário, obtiveram aumento, provavelmente devido à adição de sulfato de alumínio.

5.3.3. Comparação Fase 1 e Fase 2

Observando as Tabelas 5.4 e 5.8 apresentadas anteriormente, observamos a diferença de remoção entre as duas fases de trabalho. A Fase 1 não se mostrou muito eficiente se comparada com a Fase 2, que obtém porcentagem de remoção mais aproximada com os valores de eficiência fornecidos pelo fabricante do filtro autolimpante.

5.3.4. Comparação com a Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde

Analisando os resultados da Fase 1 pode-se perceber que nenhum dos valores de turbidez se encontra igual ou abaixo do VMP pela Portaria. A turbidez da água bruta permanecia acima de 1,80 UT e a eficiência de remoção do filtro não passou de 31%. Para que a água filtrada fosse enquadrada nesta legislação teríamos que obter pelo menos 80% de remoção de turbidez.

Em contrapartida na fase 2, cerca de 80% das amostras obtiveram turbidez abaixo de 1UT, somente em dois momentos da carreira, na primeira hora e em 97 horas de carreira de filtração, é que o tratamento não alcançou o valor estabelecido mesmo possuindo mais de 80% de remoção devido aos elevados valores de turbidez para esses dias.

No Capítulo IV, Artigo 16 da Portaria 518 do MS, Tabela 5 (Anexo 9.2) são estabelecidos os padrões de aceitação para consumo humano. O valor máximo permitido para cor aparente é 15 uH, o que não pode ser verificado nos resultados da Fase 1 que estão bem acima do estabelecido. Na Fase 2, 90% das análises se encontram abaixo do valor permitido, somente um dia que a água bruta estava com uma qualidade pior, o tratamento não removeu o suficiente para alcançar o VMP pela Portaria.

Para os sólidos dissolvidos, a legislação estabelece até 1000 mg.L⁻¹, valor nem encontrado na água bruta em tratamento.

6. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos nas duas fases do trabalho pode-se delinear as seguintes conclusões:

- Durante as análises, a água bruta não sofreu variações bruscas em sua qualidade, sendo assim, não se pode afirmar que essa variação afetaria o funcionamento do filtro autolimpante;

- Na 1ª fase do trabalho, sem utilização de coagulante químico, a baixa remoção dos parâmetros, resultou valores muito acima do permitido do que se espera de uma água potável;

- A remoção de cianobactérias na fase 1 do trabalho foi pouco significativa, já na fase 2, uma remoção maior que 90%, consideraremos satisfatória a remoção de 92,3% de cianobactérias.

- Com o uso do Sulfato de Alumínio como coagulante químico, a água filtrada obteve resultados aceitáveis para abastecimento público, após desinfecção.

- Analisando os dados obtidos durante o trabalho, verificou-se a inexistência de boas correlações entre a turbidez e clorofila-a, o que pode estar ligado à grande diversidade de espécies de algas encontradas na lagoa.

- Para garantir a qualidade da água tratada, é imprescindível a capacitação de um responsável para operar o filtro autolimpante.

7. RECOMENDAÇÕES

Em vista da constante piora da qualidade da água em muitos mananciais, o tratamento quase que individualizado será uma boa opção como tratamento complementar ao tratamento fornecido pelas concessionárias atualmente. A simplicidade de operação do Filtro autolimpante e satisfação com a remoção de cor, turbidez, cianobactérias e clorofila-a torna este equipamento indicado para o uso no tratamento de água eutrofizadas para o abastecimento de pequenas comunidades.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTRASAND DO BRASIL. (2008). Comunicação Pessoal.

ASTRASAND DO BRASIL. (2007a). “**Lista de Referências**”. Informações do Fornecedor.

ASTRASAND DO BRASIL. (2007b). “**Manual de Operação**”. Informações do Fornecedor.

ASTRASAND DO BRASIL. (2006). “**Filtro Astrasand para Contínua Purificação de Água**”. Informações do Fornecedor.

AZEVEDO, S.M.F. (1998). “**Toxinas de Cianobactéria: Causas e Conseqüências para a Saúde Pública.**” *Medicina on Line*, volume 1, Ano 1, nº3. Julho/Agosto/Setembro.

CARMICHAEL, W.W. (1992). “**Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins**”. *Journal of Applied Bacteriology*, 72: 445-459.

CORDEIRO, W.S. (2008). **Alternativas de Tratamento de água para comunidades rurais**”. Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos (CEFET), Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, 95 p.

DI BERNARDO, L. (2003). “**Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**” Luiz Di Bernardo (coordenador). – Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. Projeto PROSAB 498 p.

DI BERNARDO, L. (1995). “**Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**”. Rio de Janeiro: ABES: 1995. 140 p.

FUNASA – MINISTÉRIO DA SAÚDE – BRASIL. (2003). **Cianobactérias tóxicas: Impacto na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília. DF, 2003, 56p.

GARCIA, T. V. (2007) “**Tratamento de Água Eutrofizada através de Ozoflotação**”. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, Brasil, 2007, 135p.

HITZFELD, B. C.; HÖGER, S. J. e DIETRICH (2000). “**Cyanobacterial Toxins: Removal during Drinking Water Treatment, and Human Risk Assessment**”. *Environmental Health Perspectives*; v. 108, Supplement 1: 113-122. March 2000.

MELO, A. E. S. (2006). “**Avaliação da Filtração Lenta na Remoção de Células de *Cylindrospermopsis Raciborskii* e Saxitoxinas**”. Dissertação de Mestrado apresentada

à Universidade de Brasília (UnB) – Programa em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2006. 178 p.: il.

MELO FILHO, L. C. (2006). “**Avaliação da ozonização como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente na remoção de cianobactérias e saxitoxinas**”. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2006. 268 p.: il.

MIERZWA, J. C. (2006) “**Processo de Separação por Membrana para Tratamento de Água**”. In: Pádua, V. L. “*Contribuição ao Estudo de Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano*”. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2006. 335-380.

MONDARDO, R. I. (2004). “**Influência da Pré-Oxidação na Tratabilidade das Águas via Filtração Direta Descendente em Manancial com Elevadas Concentrações de Microalgas e Cianobactérias**”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2004. 147 p.: il.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. (2005). “**Sistema simplificado para a melhoria da qualidade da água consumida por comunidades rurais do semi-árido do Brasil**”. 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva. Teresina – Piauí, 2005.

BRASIL, 2004. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde**. Estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e das outras providências. In: Diário Oficial da União, n.59, p.166-176, Seção I. 26 de março 2004

RABELO, L. (2006). “**Estudos Preliminares para implantação da Filtração em margem na Lagoa do Peri de pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton**”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2006. 152 p.: il.

RICHTER, Carlos A.; NETTO, José M. de Azevedo. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada**. 4ª São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002. 332 p.

SANTA CATARINA. Secretária Municipal de Turismo. (1981). “**Criação do Parque Municipal da Lagoa do Peri e institui o plano diretor de ocupação e uso do solo**.” Florianópolis - SC.

SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; MONDARDO, R. I. E MELO FILHO, L. C. (2006). “**Filtração em Margem**”. In: Pádua, V. L. “*Contribuição ao Estudo de Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano*”. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2006. 173-236.

SENS, Maurício Luiz *et al.* Ozonização: Uma alternativa para o Tratamento de Água com Cianobactérias. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 13, n. 25/26, p.47-54, 07 jun. 06.

9. APÊNDICES

Apêndice 9.1 - Resultados das análises de água bruta da Fase 1

FASE 1 - ÁGUA BRUTA									
Cor Verdadeira (uH)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Sólidos Dissolvidos (mg.L-1)	Condutividade (μ S.L-1)	Clorofila-a (μ g.L-1)	Temperatura ($^{\circ}$ C)	Contagem de Algas Cianobactérias (ind.L-1)	Tempo de Carreira de Filtração (h)
	61	3,77	6,64				22,5		
	65	3,63	6,62				22,9		1
20	64	3,88	6,38	31	62	1,51	23,3		2
	66	4,04	6,59				23,9		3
	61	3,50	6,81				22,4		23
	62	4,05	6,84				22,8		24
9	60	3,82	6,93	32	64	1,46	23,7	31850	25
	76	4,57	6,75				24,0		26
	63	4,04	6,87				23,0		51
11	65	4,98	6,19	31	62	2,96	23,2		53

Apêndice 9.2 - Resultados das análises de água filtrada da Fase 1

FASE 1 - FILTRO AUTOLIMPANTE									
Cor Verdadeira (uH)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Sólidos Dissolvidos (mg.L-1)	Condutividade (μ S.L-1)	Clorofila-a (μ g.L-1)	Temperatura ($^{\circ}$ C)	Contagem de Algas Cianobactérias (ind.L-1)	Tempo de Carreira de Filtração (h)
	51	3,22	6,21				22,4		
	55	3,39	6,29				22,9		1
22	59	3,19	6,52	31	62	1,25	23,8		2
	55	3,07	6,06				23,8		3
	49	3,16	6,72				22,1		23
	60	3,68	6,68				22,8		24
10	54	3,59	6,72	29	58	1,58	23,6	25100	25
	50	2,92	6,72				24,2		26
	53	3,02	6,72				23,1		51
12	54	3,45	6,03	32	64	2,19	23,3		53

Apêndice 9.3 - Resultados das análises de água bruta da Fase 2

FASE 2 - ÁGUA BRUTA									
Cor Verdadeira (uH)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Sólidos Dissolvidos (mg.L-1)	Condutividade (μ S.L-1)	Clorofila-a (μ g.L-1)	Contagem de Algas Cianobactérias (ind.L-1)	Temperatura (°C)	Tempo de Carreira de Filtração (h)
	123	10,6	6,82					26,6	
7	57	6,09	6,48	29	58	1,26		26,3	1
9	35	4,26	6,82	34	68	1,94		27,9	48
2	63	5,29	6,76	32	64	1,99		26,2	88
7	68	5,50	6,86	35	70	2,54		28,6	97
9	62	4,80	6,70	38	76	1,53		28,1	120
	54	4,19	6,77					27,9	121
11	52	4,51	6,60	36	72	1,67		28,6	144
	60	4,87	6,39					28,2	145
	55	4,10	6,03					28,0	146
9	57	4,76	6,65	35	70	1,81		26,6	164
	59	3,85	6,74	0				25,5	191
9	65	4,99	6,64	31	62	1,08	26550	25,4	192
	61	4,27	6,85	0				25,5	193
7	57	4,31	6,74	34	68	1,71		26,8	216
	56	4,24	6,56					24,8	235
	71	4,13	6,35					25,7	236
	56	3,80	6,46					26,4	237
	59	3,78	6,68					27,5	238
9	57	3,96	6,68	34	68	2,26		27,9	240
7	55	3,64	6,56	34	68	1,90		26,3	259
	57	3,73	6,62					25,8	284

Apêndice 9.4 - Resultados das análises de água filtrada da Fase 2

FASE 2 - FILTRO AUTOLIMPANTE									
Cor Verdadeira (uH)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Sólidos Dissolvidos (mg.L-1)	Condutividade (μ S.L-1)	Clorofila-a (μ g.L-1)	Contagem de Algas Cianobactérias (ind.L-1)	Temperatura (°C)	Tempo de Carreira de Filtração (h)
	27	2,31	5,09					26,2	0
3	11	1,09	4,90	35	70	0,72		26,2	1
3	9	0,78	5,35	36	72	0,25		27,1	48
1	4	0,75	5,47	37	74	0,31		25,9	88
1	12	0,96	5,70	37	74	0,50		28,3	97
4	17	1,04	5,49	38	76	0,65		27,9	120
	4	0,92	4,63					27,7	121
1	4	0,81	4,72	36	72	0,35		28,3	144
	4	0,83	5,13					28,2	145
	4	0,84	5,01					27,9	146
2	7	0,69	5,32	37	74	0,42		26,5	164
	7	0,64	4,88					24,4	191

1	9	0,74	5,72	36	72	0,44	2050	25,5	192
	8	0,67	5,08					24,8	193
-	6	0,73	5,53	37	74	0,36		26,5	216
	8	0,59	5,57					24,7	235
	11	0,76	5,88					25,6	236
	6	0,76	5,07					25,8	237
	9	0,72	4,92					26,9	238
4	10	0,70	5,73	37	74	0,29		27,5	240
4	10	0,78	5,20	37	74	0,34		26,3	259
	21	1,48	6,62					25,6	284

10. ANEXOS

Anexo 10.1 - Tabela 2 da Portaria nº 518/04 do MS – Padrão de Turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

Tratamento da Água	VMP⁽¹⁾
Desinfecção (Água subterrânea)	1,0 UT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração Rápida (Tratamento completo ou Filtração Direta)	1,0 UT⁽²⁾
Filtração Lenta	2,0 UT ⁽²⁾ em 95% das amostras

Notas: (1) valor máximo permitido.

(2) unidade de turbidez.

Anexo 10.2 - Tabela 5 da Portaria nº 518/04 do MS – Padrão de aceitação para consumo humano.

Parâmetro	Unidade	VMP⁽¹⁾
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH⁽²⁾	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável ⁽³⁾
Gosto	-	Não objetável ⁽³⁾
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT⁽⁴⁾	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3