

KERSTIN ELLEN HANTSCHERL

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA TRATADA DISTRIBUIDA  
PARA A POPULAÇÃO PELO SAMAE DE RIO NEGRINHO**

Florianópolis, 2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

KERSTIN ELLEN HANTSCHHEL

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA TRATADA DISTRIBUIDA  
PARA A POPULAÇÃO PELO SAMAE DE RIO NEGRINHO**

Relatório final apresentado à disciplina 5510 Estágio Supervisionado, do Curso de Química, da Universidade Federal de Santa Catarina, semestre 2004/2, realizado na empresa: SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto, na área: Laboratório da ETA – Estação de Tratamento de Água, no período de 02/08/2004 a 03/12/2004, num total de 360 horas, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Química.

Professora Orientadora: Tereza Cristina R. De Souza

Florianópolis, 2004

Aos meus pais Theo e Vilma, por sua constante e paciente preocupação com a minha pessoa e com quem aprendi a impor-me metas e de quem recebi orientação para fazer do estudo um prazer.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter permitido a realização deste sonho.

Aos meus pais Theo e Vilma e ao meu irmão Kervin, que apesar da distância sempre recebi amor, compreensão e apoio tanto quanto durante ao meu estágio como também no estudo na universidade e ao longo da minha vida pessoal.

A Prof. Tereza Cristina R. de Souza, pelo carinho e atenção disponibilizados e pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

A Empresa SAMAE e demais colaboradores da Autarquia, em especial, ao Diretor Geral Sr. Mário José Pscheidt, pela oportunidade de estágio oferecido.

A Sra. Maria José Gonçalves de Oliveira, Engenheira Química do SAMAE, pelo carinho, apoio e dedicação ofertados no período de estágio.

Aos demais funcionários do SAMAE, principalmente ao chefe da Estação de Tratamento de Água e aos Operadores da ETA, pela contribuição e paciência.

Aos amigos e colegas do curso, especialmente a Elisângela, Fernanda, Karen, Ledilege, Silvia, Cesar e Maikon, companheiros de trabalhos e sonhos... e, sobretudo, amigos.

Aos professores de Química de Universidade Federal de Santa Catarina.

E a todos os meus amigos e familiares que de uma forma ou outra me apoiaram nessa etapa da minha vida.

*"Com os nossos pensamentos e palavras, construímos o verdadeiro mundo em que vivemos. Por isso, nossa vida e nossa felicidade dependem exclusivamente de nossos pensamentos e de nossas palavras. Vigie o momento presente, para que o seu futuro seja feliz. Plante sementes de otimismo e de amor, para colher amanhã os frutos da alegria e da felicidade!" (autor desconhecido)*

## RESUMO

A água possui qualidades variáveis, dependendo do local e das condições de sua origem. Ao atravessar os campos ou cidades, elas poderão ter sua qualidade muito alterada. Dependendo da utilização é preciso tratá-la.

Podemos considerar a água como um elemento ou componente físico da natureza, um ambiente para a vida, sendo considerada fator indispensável na vida dos seres terrestre. Dentre outras, a água é utilizada na irrigação dos solos, na dessedentação de animais de criação e no abastecimento das cidades.

Para a água ser ingerida é essencial que ela não contenha elementos nocivos à saúde, que não possua sabor, odor ou aparência desagradável. Para não ser nociva à saúde, esta não pode conter substâncias tóxicas e organismos patogênicos. São feitos testes físicos, químicos e microbiológicos, visando observar vários parâmetros ou índices de qualidade.

As análises de cor, cloro, flúor, cloretos, ferro e alumínio foram feitas usando o espectrofotômetro UV-Vis da Hach modelo DR/2010, com os resultados expressos em miligramas por litro.

A alcalinidade, o oxigênio consumido e a dureza foram determinados através do método titulométrico, resultando em valores aceitáveis pela legislação vigente.

A turbidez, que é uma das análises de maior importância, é acompanhada em todas as etapas do tratamento de água, através de um turbidímetro. Uma turbidez alta pode indicar a presença ou não de microrganismos na água. Outra análise feita, de grande influência no tratamento de água, é o pH que é monitorado a cada duas horas no tratamento e uma vez por semana nos terminais de rede, pois é a partir dele que se ajusta a quantidade de coagulante necessário para a floculação das partículas e no final do tratamento a necessidade ou não da alcalinização da água para que a mesma apresente um pH na faixa de 6,5 – 9,0.

Os resultados obtidos nas análises realizadas no laboratório da ETA seguem os parâmetros e exigências da Portaria 518 do Ministério da Saúde.

A importância do abastecimento de água deve ser encarada sob os aspectos sanitários e econômicos.

## **LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgotos

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETA sede – Estação de Tratamento de Água do perímetro urbano de Rio Negrinho

UT – unidade de turbidez no sistema nefelométrico

uH – unidade Hanzen – padrão de platina-cobalto

Pt-Co – Cloroplatinato de cobalto

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Casa de Bombas, no ponto de captação no rio Negrinho	17
Figura 2: Calha dispersora de sulfato de alumínio na água bruta	18
Figura 3: Floculadores	19
Figura 4: Decantador	20
Figura 5: Filtro	21
Figura 6: Dosador de cloro gás	21
Figura 7: Cone de saturação de flúor	22
Figura 8: Reservatório de água tratada	23



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>23</b>
<b>4 MATERIAIS E METODOS.....</b>	<b>24</b>
4.1 REAGENTES.....	24
4.2 MÉTODOS.....	24
4.2.1 TURBIDEZ.....	24
4.2.2 COR.....	24
4.2.3 pH.....	25
4.2.4 ALCALINIDADE TOTAL.....	25
4.2.5 GÁS CARBÔNICO LIVRE.....	25
4.2.6 CLORO RESIDUAL.....	26
4.2.7 FLÚOR.....	26
4.2.8 OXIGÊNIO CONSUMIDO.....	26
4.2.9 DUREZA TOTAL.....	27
4.2.10 CLORETOS.....	27
4.2.11 DIGESTÃO.....	27
4.2.12 FERRO TOTAL.....	28
4.2.13 ALUMÍNIO RESIDUAL.....	28
4.2.14 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS.....	29
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
5.1 TURBIDEZ.....	30
5.2 COR.....	31
5.3 pH.....	32
5.4 ALCALINIDADE.....	33
5.5 GÁS CARBÔNICO LIVRE.....	35
5.6 CLORO RESIDUAL.....	35
5.7 FLÚOR.....	36
5.8 OXIGÊNIO CONSUMIDO.....	37
5.9 DUREZA TOTAL.....	38
5.10 CLORETOS.....	39
5.11 DIGESTÃO.....	40

5.12 FERRO TOTAL .....	40
5.13 ALUMÍNIO RESIDUAL .....	41
5.14 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS.....	42
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ambiente em que vive o homem é determinada pelos complexos processos que ele utiliza para assegurar e tornar agradável a sua vida.

O homem, como ser heterotrófico, depende, conseqüentemente, para viver, de três elementos fundamentais: o alimento, o ar e a água. Foi essa necessidade que nele fixou a tendência natural de se estabelecer próximo aos cursos d'água, pois dos três elementos vitais é a água que não se encontra distribuída uniformemente, como o ar, e que não pode ser fabricada, como os alimentos.

É, conseqüentemente, a água o elemento vital que se encontra presente em proporções elevadas na constituição de todos os seres vivos, inclusive o homem, onde atinge cerca de 75 % de seu peso e a sua influência tendo sido primordial na formação das aglomerações humanas.

Através dos tempos, aprimorando uma tecnologia em constante desenvolvimento, o homem concebeu, projetou e construiu este complexo sistema que é o sistema urbano de abastecimento de água, com o qual capta, condiciona, transporta, acumula e distribui este líquido precioso para suas comunidades.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A água constitui um elemento essencial à vida animal e vegetal. Seu papel no desenvolvimento da civilização é reconhecido desde a mais alta antiguidade; Hipócrates já afirmava: “A influência da água sobre a saúde é muito grande”.<sup>1</sup>

De início, o consumo de água pelo homem estava praticamente limitado aos usos essenciais à manutenção da vida: bebida e preparo de alimentos. Os desenvolvimentos de hábitos higiênicos e industriais ocasionaram um aumento de consumo de água pelo homem. O homem tem necessidade de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para todas as suas necessidades, não só para proteção de sua saúde, como também para seu desenvolvimento econômico.<sup>1,2</sup>

Nossa civilização adaptou-se nos últimos 9.000 anos ao padrão característico, e relativamente constante, pelo qual a terra recicla continuamente a água entre oceanos e continentes, através da evaporação e escoamento. A água doce, em particular, e em grandes volumes, tem sido essencial à viabilidade e ao êxito de todas as civilizações.<sup>3</sup>

As primeiras redes de irrigação ao longo do rio Nilo, há mais de 5.000 anos, os aquedutos romanos, as cisternas de Masada revelam a excepcional engenhosidade da civilização em assegurar o abastecimento necessário de água.<sup>3</sup>

Durante décadas a água tem sido desperdiçada, mal administrada e utilizada em excesso. Mas talvez o mais preocupante dos sinais de perturbação apareça quando se examina a saúde dos meios aquáticos. A disponibilidade de água para o consumo humano e para a agricultura, que apresentava na década de 1970 sérios problemas de escassez em muitos países da África, do Sudeste Asiático, do Oriente Médio e da América Latina, converte-se hoje num dos problemas mais preocupantes do planeta.<sup>1,2</sup>

Durante o ciclo hidrológico, a água sofre alterações na qualidade. Os diversos modos pelos quais a água promove o bem estar da sociedade são conhecidos como usos benéficos.<sup>1,2</sup>

Água pura, no sentido rigoroso do termo, não existe na natureza. Ela apresenta impurezas mesmo sofrendo destilação em laboratórios, em face da propriedade que possui de dissolver numerosas substâncias, sendo por esse motivo, chamada de solvente universal.<sup>1,2</sup>

A água é um bem raro e finito. De toda a água disponível no planeta, 97,5% é salgada, 2,5% é doce e apenas 0,8% é aproveitável para o consumo humano. Se for usada indiscriminadamente, pode até desaparecer.<sup>1</sup>

Quando a água se precipita sob a forma de chuva, as gotas dissolvem os gases da atmosfera (gás carbônico, oxigênio, etc.) e carregam poeiras. Ao retirar o gás carbônico presente na atmosfera, a água se acidifica, aumentando ainda mais sua ação solvente. Quando atinge a terra, parte dessa água corre sobre a superfície, parte infiltra-se no terreno e parte evapora-se.<sup>2</sup>

A água que corre sobre a superfície dissolve, em maior parte ou menor extensão (conforme tempo de contato e grau de solubilidade), sais presentes nos minerais existentes em seu caminho, como o caso de carbonatos de cálcio e magnésio (calcáreos), que pela ação do gás carbônico da água, são transformados em bicarbonatos que passam a ser solúveis. A água é também acidificada quando entra em contato com matérias orgânicas em decomposição, mais frequentemente de origem vegetal, as quais libertam gás carbônico, gás sulfídrico (que posteriormente é transformado em sulfitos e sulfatos), amoníaco (transformado em nitritos e nitratos), além de outros.<sup>2</sup>

A matéria orgânica em decomposição liberta também substâncias orgânicas coloridas que são dissolvidas pela água ou postas em fino estado coloidal e que colorem a água. Por outro lado, o ferro e o manganês podem estar associados a essas substâncias orgânicas, ocasionando também a cor.<sup>2</sup>

Mas além da capacidade de solvente, a água também tem uma outra, que é função da velocidade com que ela caminha sobre a superfície da terra, que é a de carrear materiais suspensos. Essa matéria suspensa é que confere à água o que chamamos de turbidez.<sup>2</sup>

Existe também no corpo de um curso d'água, uma grande variedade de organismos vivos tais como algas e protozoários, que podem conferir cor, gosto e odor às águas.<sup>2</sup>

O conceito de qualidade da água está relacionado com a natureza e os teores das impurezas presentes. Por sua vez, as impurezas contidas na água é que lhe fornecem as suas características, e estas representam a qualidade da água.<sup>1,2</sup>

As características físicas que envolvem praticamente aspectos de ordem estética e psicológica como a cor, a turbidez, o sabor, o odor e a temperatura. A presença de substâncias dissolvidas são características químicas e geralmente são avaliáveis por meios analíticos. Estas características envolvem o pH, a alcalinidade, a acidez, a dureza, o ferro e o manganês, o nitrogênio, o fósforo, o oxigênio dissolvido, a matéria orgânica, os micros poluentes inorgânicos e orgânicos. A determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças refere-se às características biológicas ou hidrobiológicas da água, e pode ser efetuada de forma indireta através dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes principalmente ao grupo de coliformes.<sup>1,4</sup>

A qualidade que se deseja na água natural e a que se necessita na água de consumo, entre outros aspectos, vão influir na escolha do manancial e no processo de tratamento a ser adotado, sem se deixar também de levar em conta o aspecto econômico-financeiro deste tratamento.<sup>1</sup>

Como a água nunca é encontrada em estado de absoluta pureza, há necessidade dos órgãos competentes estabelecerem os limites gerais aceitáveis para as impurezas contidas nas águas, de acordo com o fim a que as mesmas se destinam ou, em outras palavras, estabelecerem padrões.<sup>2,5</sup>

Padrões de potabilidade são os que fixam os limites gerais aceitáveis para as impurezas contidas nas águas destinadas ao abastecimento público. Embora seja desejável que a qualidade das águas de abastecimento destinadas às pequenas coletividades não seja inferior às das grandes, reconhecendo-se a dificuldade que às vezes se apresenta em pequenos serviços para satisfazer aos limites dos padrões de potabilidade, definem-se os padrões de segurança.<sup>1,2</sup>

Padrões de segurança são os que indicam limites aceitáveis, para as impurezas das águas destinadas ao abastecimento e que garantem que estas não vão causar dano à saúde do povo, embora não sejam atendidos certos aspectos e sempre visando a economia.<sup>1,2</sup>

Há substâncias que não se autodepuram, como o mercúrio, e causam poluição cumulativa das águas, com sérios riscos ao homem, à fauna e à flora, quando não tratadas e lançadas nos rios, lagos e mesmo no solo.<sup>6</sup>

A poluição física, devido as suas grandes conseqüências desastrosas para a estética, é a que mais impressiona os leigos. Assim é que a alteração da cor, a presença de corpos estranhos e partículas flutuantes têm um grande efeito sobre a opinião pública.<sup>2</sup>

A poluição exclusivamente química das águas interiores apresenta os inconvenientes que decorrem do “enriquecimento” dessas águas com substâncias estranhas à sua composição normal. A presença de determinados compostos em teores apreciáveis pode ocasionar o desenvolvimento nocivo de microrganismos, principalmente algas, prejudicando a qualidade da água.<sup>2</sup>

A poluição bioquímica tem sido a forma de degradação melhor investigada. Para sua precisão e análise já foram estabelecidas as equações gerais do fenômeno com base em pesquisas de extraordinário valor técnico-científico.<sup>2</sup>

A presença eventual ou sistemática de organismos patogênicos nas águas receptoras certamente constitui o aspecto de maior significação e interesse para a Saúde Pública. Além da contaminação bacteriana deve-se ter em consideração também à presença de vírus

perigosos. De pouco valerá manter-se um elevado teor de oxigênio dissolvido em águas, cujas características bacteriológicas sejam más.<sup>2</sup>

A função primária da água municipal é transportar os resíduos indesejáveis das operações domésticas e industriais. Os contaminantes incluem as excreções humanas, restos de cozinha e uma variedade de esgotos industriais orgânicos e inorgânicos. E esta disposição desordenada de esgotos conflita com o uso da água como recurso municipal.<sup>7</sup>

As condições locais mostram em cada caso a necessidade da depuração e o “grau” de tratamento de esgoto requerido. Uma indústria ou uma cidade localizada na costa marítima ou às margens de um grande rio poderá prescindir de tratamento, pois as condições de diluição poderão ser suficientes para a dispersão e afastamento dos efluentes, sem prejuízo para a coletividade. O contrário se apresenta no caso de um rio de pequena vazão, servindo a uma região densamente desenvolvida, com indústrias e cidades a jusante.<sup>1,2</sup>

A necessidade de tratamento dos esgotos está relacionada com a saúde pública no que diz respeito aos efeitos danosos sobre os sistemas de tratamento situados à jusante e a contaminação direta e indireta. Com relação à economia, ocorre a desvalorização das terras e prejuízos a indústria, caça, pesca, pecuária, etc. O mau cheiro e o mau aspecto estão relacionados com a estética.<sup>2,5</sup>

Dos muitos usos que a água pode ter, alguns estão mais ligados com a saúde. A nocividade da água pode resultar da má qualidade ou de quantidade insuficiente. As doenças relacionadas com a água podem ser causadas por agentes patogênicos que a água transporta ou teores inadequados de certas substâncias que a água contém.<sup>1,2</sup>

Segundo estudos realizados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: “Quatro entre cinco doenças comuns nos países em desenvolvimento são causadas por água poluída ou por falta de saneamento básico. Tais doenças provocam, nestes países, em média a morte de vinte e cinco mil pessoas por dia”.<sup>8</sup>

A importância do abastecimento de água deve ser encarada sob os aspectos sanitários e econômicos. O aspecto sanitário no abastecimento de água tem influência decisiva sobre o controle e prevenção de doenças, nas práticas que promovem o aprimoramento da saúde e no estabelecimento de meios que importam em melhoria de conforto e segurança coletiva.<sup>2,5,8</sup>

A importância do abastecimento de água sob o aspecto econômico se traduz no aumento sensível do número de horas de trabalho e no desenvolvimento industrial. Ressalta-se, entretanto, que os efeitos benéficos causados pela implantação ou melhoria dos sistemas de abastecimento de água, se acentuam bastante, com a execução de outros serviços, todos

eles ligados ao saneamento do meio, ou seja, esgotos, lixo, controle de artrópodes e roedores.<sup>2,8</sup>

A implantação ou melhoria dos sistemas de abastecimento de água e esgotos acarreta indiretamente a diminuição da incidência de uma série de doenças não relacionadas com a água.<sup>1,2,5</sup>

Nas zonas rurais todas as necessidades podem ser satisfeitas pelo armazenamento de água de chuva, pelas fontes e pela abertura de poços. Portanto, o abastecimento é feito principalmente por águas meteóricas, por meio de cisternas e águas subterrâneas, provenientes do lençol freático, no caso fontes e poços.<sup>2</sup>

As comunidades se desenvolvem e mais cedo ou mais tarde elas sentem necessidade de possuir um sistema público de abastecimento de água, com rede de distribuição, para suprir as necessidades não só das residências, mas também para o uso das indústrias, do comércio e do público. Não existe uma regra geral que indique qual a fase do desenvolvimento demográfico em que uma comunidade deva necessariamente ser provida de um sistema público de abastecimento de água.<sup>2</sup>

Nas zonas urbanas os sistemas de abastecimento utilizados nas zonas rurais não são suficientes para satisfazer às populações; neste caso, geralmente utilizam-se as águas superficiais de rios e córregos ou águas subterrâneas provindas do lençol artesiano. Para a escolha de um manancial de abastecimento de água são considerados como principais fatores a quantidade, a qualidade e o custo da mesma.<sup>2,5</sup>

Um abastecimento insuficiente tem como resultado a falta de água, principalmente durante as horas de maior consumo. A água deve ser de boa qualidade, principalmente, sob o ponto de vista da saúde pública, pois que, praticamente, toda cidade faz uso da água e poderiam resultar surtos epidêmicos se esta água carregasse germes patogênicos; se por outro lado a água tivesse gosto ou cor, ela não seria usada livremente, por isso estariam frustrados os fins para os quais foi feito o sistema de abastecimento de água, ou seja, servir a população.<sup>2,5</sup>

Por outro lado, o custo do abastecimento deve ser razoável, e o mais baixo possível, tendo em vista sempre o número de pessoas que serve e que ele deve ser amortizado em 20 ou 30 anos.<sup>2</sup>

Em cidades pequenas ou bairros mais distantes, em certos casos, o abastecimento de água a partir dos poços profundos tem sido a solução de melhor segurança e viabilidade, em virtude da relativa facilidade da exploração destes lençóis e da boa qualidade das águas que neles se encontram.<sup>1,2</sup>



A água usada para o abastecimento da população deve ser tratada e purificada, visando uma melhor qualidade. Para isso, uma estação de tratamento de água é construída.

Uma Estação de Tratamento de Água (ETA) compreende obras e equipamentos capazes de captar, condicionar convenientemente, transportar, acumular e distribuir a água aos consumidores. Abrange, conseqüentemente, a captação, adução, tratamento e reservação. Na ETA a água é clarificada e purificada, em seqüência, pelos seguintes processos: captação, coagulação/floculação, decantação, filtração, cloração e fluoretação, para então ser distribuída.<sup>2,5</sup>

A água é captada em um certo ponto do manancial, o qual é chamado de ponto de captação. Este ponto é um conjunto de obras e dispositivos de engenharia construídos junto à fonte de suprimento, para a retirada da água do manancial que deve ser conduzida pelo sistema de abastecimento, para utilização posterior da mesma. Geralmente, a captação de águas superficial é feita junto aos rios, mas às vezes há necessidade de obras para a retenção e armazenamento das águas. A captação da água em seu estado natural ocorre por sucção nas Estações de Bombeamento de água Bruta ou Casa de Bombas (Figura 1). No momento da adução, a água passa por um gradeamento que impede a passagem de sólidos de maior volume e, em seguida através de bombeamento, é conduzida às Estações de Tratamento de Água.<sup>2,5</sup>



Figura 1: Casa de Bombas, no ponto de captação da ETA sede de Rio Negrinho.

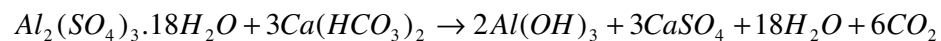
Em muitas regiões do país, a forma mais usual de utilização das águas de superfície

para a produção de água potável é captando água dos rios.<sup>1</sup>

Antes de iniciar o tratamento da água em si, faz-se, no laboratório da ETA, o teste do jarro no qual se determina o pH ótimo de coagulação e a concentração mais adequada do coagulante a ser adicionado à água. Após o teste a água recebe um agente coagulante que pode ser sulfato de alumínio, sulfato ferroso ou cloreto férrico, sendo o sulfato de alumínio o mais utilizado.

Atualmente já está sendo utilizado um coagulante orgânico à base de tanino, proveniente da acácia. Este coagulante é um polímero natural de caráter catiônico derivado da modificação do extrato aquoso vegetal da casca da Acácia negra.<sup>9,10</sup>

O sulfato de alumínio  $[Al_2(SO_4)_3]$  ao reagir com a alcalinidade natural existente na água (Figura 2) ou com substâncias alcalinas a ela acrescentadas, transforma-se em hidróxido de alumínio  $[Al(OH)_3]$ , conforme a equação abaixo:



O hidróxido de alumínio é insolúvel, tem forte carga positiva e tende a se agrupar em partículas maiores, formando um precipitado gelatinoso, floculento. O floco formado atrai as partículas de carga contrária que estão em suspensão fina ou em solução, a este fenômeno denominamos adsorção. Estes flocos são mais pesados e maiores do que as partículas que lhes deram origem e, portanto, têm condições de sedimentar no decantador ou serem retidos nos filtros.<sup>2,4</sup>



Figura 2: Calha dispersora de sulfato de alumínio na água bruta.

A coagulação tem como objetivo a remoção de turbidez e da cor existentes na água bruta. Para que haja uma boa coagulação existem alguns fatores que influenciam, como o tipo de coagulante, o teor e tipo de cor e turbidez, algumas características químicas da água como a alcalinidade, o teor de ferro, a matéria orgânica, o pH, temperatura e o tempo de misturas rápida e lenta no floclador, como na Figura 3.<sup>2,4,11</sup>

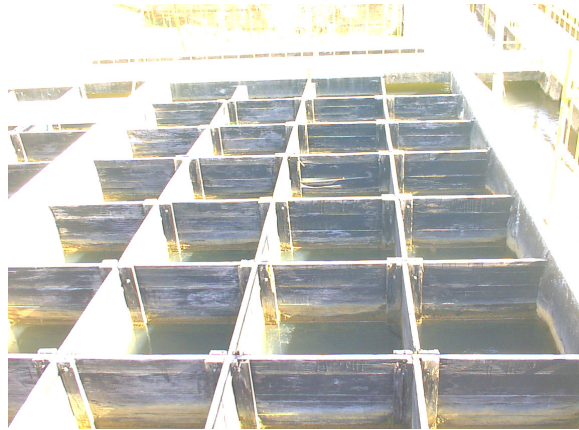


Figura 3: Flocladores

As câmaras de misturas têm uma grande influência na coagulação e na floclação. A câmara de mistura rápida é a que permite a dispersão dos produtos químicos na água a ser tratada. Na maioria das vezes somente o coagulante é adicionado à água nesta etapa, mas existem momentos em que a alcalinidade da água bruta está muito baixa, então é adicionado alcalinizante, o qual também é disperso nesta etapa. O coagulante deve ser aplicado de forma que entre em contato com toda a massa de água e misturado com grande turbulência para uma melhor eficiência do processo. A floclação ocorre na câmara de mistura lenta onde se tem uma agitação moderada, permitindo assim um bom desenvolvimento dos flocos e agregação de impurezas.<sup>2,4</sup>

A decantação é um processo pelo qual se verifica a deposição de materiais em suspensão, pela ação da gravidade. Em certos casos, há necessidade de se facilitar a sedimentação aumentando-se o tamanho das partículas, ou seja, deixando-as mais densas, e por isso se faz a coagulação.<sup>2,5</sup>

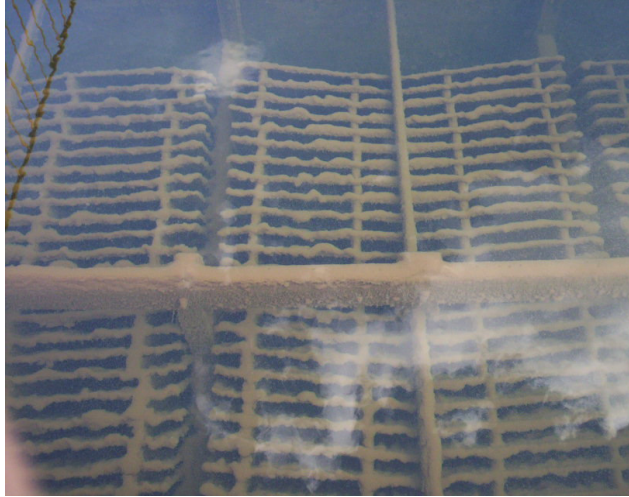


Figura 4: Decantador.

A água floculada é escoada para os decantadores ou sedimentadores, como mostrado na Figura 4, onde fica retida por aproximadamente 2 horas. Neste ponto, os flocos já adsorveram bastante impurezas e, portanto, estão mais densos. Por gravidade, eles precipitam, depositando-se fixamente no fundo do tanque e formando uma massa com aspecto de lodo. Conseqüentemente ocorre a clarificação da água e a redução de grande parte das impurezas.<sup>4,12</sup>

Após a decantação e estando a água com turbidez reduzida ao mínimo, esta é encaminhada aos filtros (Figura 5). O processo consiste na passagem da água através de substâncias porosas capazes de remover algumas impurezas. A água vai mudando de direção continuamente favorecendo o contato das impurezas com os grãos de areia e de carvão antracito, resultando na retenção dos flocos em suspensão e substâncias coloidais, as quais não foram retidas no decantador. Também ocorre a redução das bactérias presentes e alteração das características da água, inclusive químicas. A filtração encerra a primeira fase do tratamento, a clarificação, processo que deixa a água incolor, insípida e inodora.<sup>4,12,13</sup>



Figura 5: Filtro.

A desinfecção da água nas ETAs do Brasil é feita pelo cloro e, por isso, o termo desinfecção é comumente substituído por cloração. A Figura 6, ilustra a cloração usando o cloro gás. Em países desenvolvidos a desinfecção da água é feita através de ozonólise.<sup>2</sup>

Na cloração, pode ser utilizado o cloro gás, hipoclorito de cálcio ou hipoclorito de sódio.



Na reação, o cloro molecular reage com a água para formar o ácido hipocloroso e o ácido clorídrico.



Figura 6: Dosadores de cloro gás.

A desinfecção constitui medida que deve ser adotada em todos os sistemas de abastecimento quer em caráter corretivo, quer em caráter preventivo. E isto porque, mesmo quando é encontrada uma água pura ou quando a mesma é purificada em uma estação de tratamento, os longos percursos, até o consumo e os reservatórios, podem ocasionar sua contaminação.<sup>1,2,5</sup>

O tratamento desinfetante visa eliminar microorganismos patogênicos eventualmente presentes na água. O cloro é aplicado após a filtração, sendo o processo denominado de pós-cloração. A cloração garante a qualidade da água e mantém o teor de cloro residual que combate possíveis alterações na qualidade da água na rede de distribuição.<sup>2,12</sup>

Uma etapa adicional que integra o processo convencional do tratamento da água é a fluoretação (Figura 7). No tratamento da água para efeitos fisiológicos benéficos, a fluoretação é um preventivo contra a decomposição do esmalte dos dentes que, quando avariado, jamais poderá ser refeito. Esta prevenção é mais benéfica principalmente entre crianças e adolescentes. A fluoretação das águas de abastecimento público auxilia a produção natural de dentes mais resistentes e, com isso, proporciona saúde mais perfeita dos mesmos.<sup>2,12</sup>



Figura 7: Cone de saturação de flúor.

Concluído o tratamento, a água é armazenada em reservatórios (Figura 8), quando, então, através de canalizações (rede de distribuição), segue até as nossas casas. A distribuição pode ser feita por elevação, quando a água é bombeada aos lugares mais altos ou por gravidade, quando segue naturalmente aos lugares de altura inferior a do reservatório.<sup>12</sup>



Figura 8: Reservatório de água tratada.

Durante todo o processo de tratamento, a água passa por várias análises físico-químicas que indicam se ela está dentro dos parâmetros exigidos pela legislação vigente.

### **3 OBJETIVOS**

Analisar a água tratada pelo SAMAE de Rio Negrinho, proveniente da sub-bacia hidrográfica do rio Negrinho, bem como dos poços das localidades de Queimados e Cerro Azul, que também são de responsabilidade do SAMAE.

Acompanhar as etapas de clarificação e desinfecção pelas quais a água passa na Estação de Tratamento de Água.

Também verificar a legislação pertinente e o enquadramento das águas na mesma.



## **4 MATERIAIS E METODOS**

### **4.1 REAGENTES**

Os reagentes Cl<sub>2</sub>-2B e Cl<sub>2</sub>-1B foram de procedência Merck. O ácido sulfúrico, tampão amoniacal, EDTA, ácido clorídrico, hidróxido de sódio, negro de eriocromo, são provenientes da empresa Nalgon. O reagente SPANDS, tiocianato de mercúrio, solução de íon férrico, Alu Ver, Bleaching 3, Ferro Ver, ácido ascórbico foram de procedência Hach. O indicador alaranjado de metila foi de procedência da Digimed. KMnO<sub>4</sub> é proveniente da empresa Ecibra. O oxalato de amônio foi de procedência Vetec. Os meios de cultura são provenientes da empresa Sartorius.

### **4.2 MÉTODOS**

#### **4.2.1 Turbidez**

A turbidez da água foi determinada através de um turbidímetro da marca Hach 2100 P. Foram adicionados aproximadamente 25 mL de amostra em uma cubeta e então feita a leitura. A análise foi realizada uma vez com cada amostra.

#### **4.2.2 Cor**

A análise da cor foi realizada em um espectrofotômetro UV-Vis da marca Hach DR/2010. Em uma cubeta foram adicionados 25 mL de água destilada (branco) e em outra 25 mL da amostra, sendo em seguida feita a leitura da cor da amostra, no comprimento de onda de 455 nm. Para a confirmação da análise, foram feitas duas leituras para a mesma amostra.

### 4.2.3 pH

Para as medidas de pH foi utilizado um pHmetro da marca Digimed DM 20.

### 4.2.4 Alcalinidade Total

Em um erlenmeyer de 250 mL foram adicionados 100 mL da amostra e quatro gotas de alaranjado de metila, a amostra foi titulada com uma solução de ácido sulfúrico 0,02 N até atingir o ponto de equivalência. O ponto final da titulação é percebido através da mudança de coloração da solução, de um tom amarelo para levemente alaranjado. O volume de ácido gasto na titulação foi anotado. A titulação foi realizada uma única vez.

Em amostras com teor elevado de cloro foram adicionadas duas gotas de tiosulfato de sódio 10 %, para eliminação do cloro.

### 4.2.5 Gás Carbônico Livre

A concentração de CO<sub>2</sub> livre foi determinada através das equações (1) e (2):

$$B = \frac{T - 5,0 \times 10^{(pH-10)}}{1 + 0,94 \times 10^{(pH-10)}} \quad (1)$$

Onde: T é a alcalinidade total

B corresponde a quantidade de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> na forma de CaCO<sub>3</sub>.

$$CO_2 \text{ livre} (mgL^{-1}) = 2,0 \times B \times 10^{(6-pH)} \quad (2)$$

#### 4.2.6 Cloro Residual

A análise do cloro residual foi efetuada num espectrofotômetro UV-Vis da marca Hach DR/2010, no comprimento de onda de 530 nm.

Foram utilizadas duas cubetas com capacidade de 10 mL e em cada uma foram adicionados uma gota do reagente “Cl<sub>2</sub> – 2B”, para que o pH fique na faixa de 5,5 – 6,5 e três gotas do reagente “Cl<sub>2</sub> – 1B” (dialquil – 1,4 - fenilenodiamino). Em uma das cubetas foi adicionado uma alíquota de 10 mL de água destilada e na outra uma alíquota de 10 mL da amostra a ser analisada. A presença de cloro na amostra torna a solução rosa. A concentração de cloro foi determinada em mg L<sup>-1</sup>, a análise foi realizada apenas uma vez com cada amostra.

#### 4.2.7 Flúor

A concentração de fluoreto foi determinada através de um espectrofotômetro UV-Vis da marca Hach DR/2010, em 580 nm.

Foram adicionados 10,0 mL de amostra em uma cubeta e em outra 10,0 mL de água destilada (branco). Em seguida, em cada uma das cubetas foi adicionado 2,0 mL do reagente “SPANDS” ( 0,01 - 0,1 % de arsenito de sódio, 30-40 % de HCl, 60-70% de água e outros < 0,1% ). Após homogeneização as misturas foram deixadas reagir por 1 minuto, sendo feita a leitura da concentração de fluoreto na amostra.

Como este teste é muito sensível, a análise foi repetida mais uma vez para confirmação do resultado, tendo-se o cuidado de verificar se a amostra e a água destilada estavam na mesma temperatura.

#### 4.2.8 Oxigênio Consumido

Em um erlenmeyer de 250 mL foram adicionados 100 mL de amostra, 10,0 mL de ácido sulfúrico 1:3 e 10,0 mL de solução de permanganato de potássio 0,0125 N. A solução foi homogeneizada tornando-se violeta.

A amostra foi aquecida até entrar em ebulição e então foi deixada ferver por 10 minutos. Ainda quente, foram adicionados 10,0 mL de oxalato de amônio 0,0125 N, o qual

deixou a solução translúcida.

Em seguida, esta solução foi titulada com permanganato de potássio 0,0125 N até que ficasse com um leve tom rosado, indicando o fim da titulação. A titulação foi efetuada uma vez com cada amostra.

#### **4.2.9 Dureza Total**

Em um erlenmeyer de 250 mL foram adicionados 100,0 mL da amostra, 2,0 mL de um tampão amoniacal de pH 10 e duas gotas da solução indicadora negro de eriocromo T. A solução foi titulada com EDTA 0,01 N, até a viragem da cor vinho para azul. Cada amostra foi analisada uma vez.

#### **4.2.10 Cloretos**

O espectrofotômetro UV-Vis da marca Hach DR/2010 foi utilizado para a análise de cloretos, no comprimento de onda de 455 nm. Em uma cubeta foram adicionados 25 mL de amostra e em outra 25 mL de água destilada. Em seguida foi adicionado em cada uma das cubetas 2,0 mL de solução de tiocianato de mercúrio (< 0,5 % DE tiocianato de mercúrio e > 99,0 % de álcool metílico). Após homogeneização, foi adicionado 1,0 mL de solução de íon férrico (5,0 – 10,0 % de perclorato férrico, 80,0 - 90,0 % de água e 1,0 – 10,0 % de ácido perclórico) em cada uma das cubetas. A mistura foi deixada em repouso por 2 minutos para reagir e depois foi feita a leitura da concentração de cloretos na amostra. A análise não foi repetida.

#### **4.2.11 Digestão**

Foram transferidos 100 mL de amostra para um béquer de 200 mL, sendo em seguida adicionados 5 mL de ácido clorídrico 1:1 e aquecida a solução até que o volume fosse reduzido à 15-20 mL. Não foi permitido que a amostra entrasse em ebulição.

Após o resfriamento da amostra digerida à temperatura ambiente, foi ajustado o pH através da adição gota a gota de soluções de hidróxido de sódio de 6,0 N, 0,5 N, 0,1 N e 0,01 N, até pH 4,0. Após cada adição a solução foi agitada vigorosamente.

Foi transferida quantitativamente a amostra para um balão volumétrico de 100 mL, lavando as paredes do béquer com água destilada. O volume foi completado e a solução foi homogeneizada. Esta é a amostra digerida para análise de metais, como o ferro e o alumínio.

#### **4.2.12 Ferro Total**

O espectrofotômetro UV-Vis da marca Hach DR/2010 foi utilizado para a análise de ferro, no comprimento de onda de 510 nm. Em duas cubetas foram adicionados 10 mL da amostra digerida. Uma das cubetas será o branco. Na outra foi adicionado 0,100 g do reagente “FerroVer” (45,0 – 55,0 % de tiosulfato de sódio, 1,0 – 5,0 % do sal do ácido 1,10-fenantrolina-p-toluenosulfônico, 15,0 – 25,0 % de hidrossulfito de sódio, 1,0 – 10,0 % de citrato de sódio e 20,0 – 30,0 % de metabissulfito de sódio). A mistura foi agitada até completa dissolução do reagente. Se o ferro estiver presente na amostra, uma coloração alaranjada se formará. A mistura foi deixada reagir por 3 minutos e então foi lido a concentração de ferro total em  $\text{mg L}^{-1}$ , foi feita apenas uma leitura.

#### **4.2.13 Alumínio Residual**

Para a análise de alumínio, utilizou-se o espectrofotômetro da marca Hach DR/2010 no comprimento de onda de 522 nm.

Foram transferidos 50 mL da amostra digerida para uma proveta e adicionados 0,050 g de ácido ascórbico (> 99,0 % de ácido ascórbico e < 1,0 % de outros). A mistura foi agitada até dissolução do ácido. Em seguida, foram adicionados 0,510 g do reagente “AluVer” (composto por: 1,0 – 5,0 % de Atrinocarboxilato de cálcio, ácido aurintricarboxílico, sal de cálcio, 20,0 – 30,0 % de succinato dissódico e 70,0 – 80,0 % de ácido succínico), agitando até completa dissolução. Após, foram transferidos 25 mL desta solução para uma cubeta de 25 mL e reservado. Aos 25 mL remanescentes na proveta foram adicionados 0,065 g do reagente “Bleaching 3” (45,0 – 55,0 % de pirofosfato de sódio, 45,0 – 55,0 % de pirofosfato de

potássio e 1,0 – 5,0 % de sulfato de magnésio) e agitado por aproximadamente 30 segundos, esta mistura será o branco. Foi deixado reagir por 15 minutos e então foi feita a leitura da concentração de alumínio. Não foi repetida a análise.

#### **4.2.14 Análises Microbiológicas**

Nas análises bacteriológicas foram utilizados 100 mL de amostra e os meios de cultura da Sartótiós NKS ENDO para coliformes termotolerantes (*E. Coli*) e total e NKS PCA TTC para a contagem total de bactérias heterotróficas. As amostras foram incubadas por 24 horas a 37° C em estufa. Foi efetuada uma análise da amostra.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas.

Para que a água seja considerada potável, após o tratamento convencional os parâmetros físico-químicos e microbiológicos deverão estar de acordo com a Portaria número 518, do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, que em seu Anexo apresenta as normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano, a serem observadas em todo território nacional.<sup>14</sup>

Assim, para a água de um recurso hídrico ser tratada por processo convencional para produzir a denominada “água potável”, a fim de ser utilizada no abastecimento da população, deverá no máximo ser enquadrada dentro destes parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Os itens seguintes descrevem alguns parâmetros físico-químicos, bem como uma análise geral destes parâmetros obtidos durante a realização deste estágio na ETA sede do SAMAE de Rio Negrinho. Todos estes parâmetros são de determinação rotineira no laboratório de análise de água da ETA.

A localização da ETA sede, ETA Volta Grande e dos poços de Cerro Azul, Queimados e Vila Áurea estão no mapa que se encontra em anexo. Neste trabalho estão descritos as características com seus respectivos valores da ETA sede, poço de Cerro Azul e Queimados.

Semanalmente são feitas coletas de amostras de água para posterior análise. Sendo que nos terminais de rede são coletadas e analisadas seis amostras semanais. Nos poços, são coletadas e analisadas apenas uma amostra por semana.

### 5.1 Turbidez

A turbidez é uma característica decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, de sólidos suspensos, finamente divididos em estado coloidal, e de organismos microscópicos. A turbidez é mais freqüente em águas correntes, devido ao carregamento de areia e argila, pela mesma.<sup>1,2,4,15</sup>

O método utilizado para a determinação da turbidez da água é o nefelométrico, ou seja, através de uma fotocélula mede-se a quantidade de luz que emerge perpendicularmente de um feixe luminoso que passa pela amostra. As alterações da penetração da luz pelas partículas em suspensão, provocam sua difusão e absorção. Este método é adotado nas atividades de controle de poluição da água e verificação do parâmetro físico nas águas consideradas potáveis.<sup>1,2,16</sup>

A vista humana não tem sensibilidade para evidenciar a presença de turbidez, se esta for pequena. Assim, durante muito tempo a turbidez foi de característica apenas estética. Sabe-se hoje, que vírus e bactérias podem se alojar nas partículas em suspensão coloidais e assim, proteger-se da ação do desinfetante. Desta forma a turbidez foi considerada também sob o ponto de vista sanitário.<sup>2</sup>

A turbidez recomendável pelo Ministério da Saúde, através da Portaria número 518 de 25 de março de 2004, para água de abastecimento é de no máximo 5,0 UT.

Na ETA sede do SAMAE de Rio Negrinho, faz-se um controle da turbidez na água bruta e tratada na saída do tratamento, sendo que os valores médios mensais são de 46,2 e 0,90 UT, respectivamente. Em meses mais chuvosos, a turbidez da água bruta tem um aumento, mas a água tratada continua com a mesma média.<sup>17</sup>

Na água tratada pela ETA sede, coletada nos terminais de rede a turbidez média mensal fica em torno de 0,62 UT. Já nos Poços de Queimados e Cerro Azul a turbidez média mensal é de 0,52 e 1,45 UT, respectivamente.<sup>17</sup>

## 5.2 Cor

A cor na água é o resultado principalmente dos processos de decomposição que ocorrem no meio ambiente. Por este motivo, as águas superficiais estão mais sujeitas a ter cor do que as águas subterrâneas. Além disto, pode-se ter cor devido à presença de íons metálicos como ferro e manganês que estão na sua forma oxidada, plâncton e despejos industriais. A cor de águas de lagoas e represas provém de material orgânico e também é produzida por ferro e manganês combinados com essas matérias orgânicas.<sup>1,2</sup>

As substâncias dissolvidas provocam o que se chama de cor “verdadeira”, e quando em conjunto com colóides e suspensões finas coloridas, denomina-se cor “aparente”.<sup>1,2,15</sup> Águas superficiais podem parecer ter cor devido ao material em suspensão. Esta coloração é dita “aparente”, porque é como o ser humano a vê, mas é, na verdade, em parte o resultado da



reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão responsáveis pela turbidez. Quando esta é removida por centrifugação obtém-se a cor verdadeira.

A diferenciação entre cor “verdadeira” e a cor “aparente”, é dada pelo tamanho das partículas, isto é, pode-se generalizar que partículas com diâmetro superior a 1,2  $\mu\text{m}$ , causam turbidez e com diâmetro inferior, já na classe dos colóides e substâncias dissolvidas causam cor verdadeira.<sup>18</sup>

A importância da determinação da cor é fundamentalmente de características estéticas, pois uma água isenta de cor pode não ser potável, mas o seu acentuado teor causará certa repugnância ao consumidor. Além disso, pode causar prejuízo econômico como manchas em roupas e aparelhos domésticos.

A unidade de cor é aquela produzida por 1  $\text{mg L}^{-1}$  de platina em 1 litro de água, na forma de cloroplatinato de cobalto. A legislação vigente recomenda que a cor da água tratada deve ser de até 15 uH, ou seja, 15  $\text{mg Pt-Co L}^{-1}$ .<sup>14</sup>

A média mensal da cor observada na água tratada da ETA sede é de 3,38  $\text{mg Pt-Co L}^{-1}$ . No poço de Cerro Azul, a cor média é de 16,2  $\text{mg Pt-Co L}^{-1}$ . Neste poço a cor tem um teor mais elevado pela alta concentração de ferro nas águas. Para resolver este problema é dosado nesta água o ortopolifosfato, um agente quelante que forma um complexo incolor com o ferro, desta forma inibe a cor da água. Em Queimados, a água do poço tem sua cor média em torno de 2,25  $\text{mg Pt-Co L}^{-1}$ .<sup>17</sup>

A média mensal da cor da água bruta e da água na saída do tratamento é de 232,4 e 5,9  $\text{mg Pt-Co L}^{-1}$ , respectivamente.

### 5.3 pH

Potencial hidrogeniônico representa a concentração de íon hidrogênio  $\text{H}^+$  (em escala anti-logarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH é de 0 a 14.<sup>19</sup> Em geral,  $\text{pH} < 7,00$  condições ácidas;  $\text{pH} = 7,00$  neutralidade e  $\text{pH} > 7,00$  condições básicas.

O conhecimento do potencial hidrogênioônico é de grande importância em tratamento de água, permitindo o monitoramento do poder de corrosão, quantidade de produto químico necessário à coagulação, crescimento de microorganismos, processo de desinfecção, tendo a finalidade de reduzir o nível dos microorganismos.<sup>2</sup>

O pH é determinado freqüentemente durante o processo de tratamento, uma vez que existe um pH “ótimo” de coagulação/floculação, no qual se obtém o melhor tipo de floco e, portanto, a melhor decantação. Também se determina o pH da água tratada, a fim de ser permitida, através de cálculos, a determinação do CO<sub>2</sub> livre.

É necessário que o pH atenda às legislações pertinentes para água de consumo humano e este deve estar na faixa de 6,00 a 9,50, conforme a Portaria 518, do Ministério da Saúde.<sup>14</sup>

O pH da água tratada pelo SAMAE de Rio Negrinho está em torno de 6,90, que é praticamente o valor com o qual a água é liberada na saída do tratamento (pH = 6,60) e também se tenta manter o valor do pH da água bruta que é de 6,70. Já nos poços, o pH tem uma maior variação dependendo da localização dos mesmos. Em Queimados, o pH fica em média mensal de 8,21, o que implica dizer que esta água é mais alcalina. No poço de Cerro Azul, observa-se um pH médio mensal de 7,60.<sup>17</sup>

Pode-se dizer que existe um padrão de comportamento nas concentrações de sais presentes em águas, o que determina maiores ou menores teores de íons nas águas. Normalmente, as águas naturais são levemente alcalinas devido à presença de bicarbonatos e carbonatos de metais alcalinos e alcalinos terrosos. Os carbonatos são os sais que operam como mecanismo tampão na maioria das águas doces superficiais. Como resultado disso, têm-se poucas alterações de pH nas águas de lagos e estuários, que se mantêm, em geral, entre 7,5 - 8,1, exceto em situações de superdesenvolvimento de algas que, via de regra, tornam as águas alcalinas.

O pH é uma característica importante a ser controlada em um manancial, visto que influencia nos processos biológicos que ocorrem no meio aquático, bem como na toxidez de alguns compostos nele presentes. Também é a partir do pH que se ajusta a quantidade de coagulante necessário para a floculação das partículas e no final do tratamento a necessidade ou não da alcalinização da água para que a mesma apresente um pH na faixa de 6,5 – 9,0.

## **5.4 Alcalinidade**

A alcalinidade resulta da presença de sais de ácidos fracos, carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos e ocasionalmente, silicatos e fosfatos presentes na água. Representa a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íon hidrogênio.<sup>18</sup>

A alcalinidade é normalmente encontrada nas águas sob a forma de carbonato ou bicarbonato, resultante da ação do dióxido de carbono sobre os minerais do solo. O seu

significado sanitário está vinculado à alcalinidade cáustica, causada por íons hidróxidos, ou seja, é indesejável e é raramente encontrado em águas naturais.<sup>15,16</sup>

A alcalinidade da água está relacionada com o seu grande poder de dissolver gás carbônico, e este, na forma de ácido carbônico, pode estar combinado, sob várias formas, com metais alcalinos e alcalinos terrosos na forma de carbonatos. Estes sais, sendo provenientes de bases fortes e ácidos fracos, conferem a água um caráter básico.

A alcalinidade total é determinada utilizando o indicador alaranjado de metila, pois não há a necessidade de saber o teor de íons hidróxidos, e sim a quantidade total dos íons que tornam a água alcalina, como os bicarbonatos e carbonatos. A alcalinidade, independente dos agentes responsáveis, é expressa em  $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ .

A alcalinidade varia muito de uma água para outra. A água tratada na ETA sede do SAMAE de Rio Negrinho, tem uma alcalinidade baixa, uma média mensal em torno de  $9,56 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ .<sup>17</sup>

Os poços, em geral têm sua alcalinidade alta, geralmente acima de  $100 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ , como no caso dos poços de Queimados e Cerro Azul onde a alcalinidade média mensal é de  $140 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  e  $105 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ , respectivamente.<sup>17</sup>

A quantificação da alcalinidade em uma água tem grande importância, pois se relaciona com o processo de coagulação com floculantes, que é uma das etapas de tratamento convencional de água, com a prevenção de incrustações e da corrosão de canalizações de ferro fundido. Por outro lado, a necessidade da determinação da alcalinidade, no caso de controle de tratamento, reside no fato de que a água tratada não pode, de modo algum, ser cáustica, isso quer dizer, seu pH não pode estar acima de 12,00. Já a água “in-natura”, deve ter o pH controlado uma vez que a alcalinidade natural participa também do processo da coagulação, combinando-se com o sulfato de alumínio.<sup>2</sup>

Tabela 1: Relação entre pH e as diversas formas de alcalinidade.<sup>20</sup>

Faixa de pH	Alcalinidade
> 9,4	Hidróxidos e carbonatos
8,30-9,40	Carbonatos e bicarbonatos
4,40-8,30	apenas Bicarbonatos

A relação entre pH e as diversas formas de alcalinidade está apresentada na Tabela 1, onde verificamos que em pH abaixo de 8,30 a alcalinidade refere-se apenas a presença de

bicarbonatos.

## 5.5 Gás Carbônico Livre

O gás carbônico (CO<sub>2</sub>) existe no ar em quantidade suficiente para manter em equilíbrio na água 2,5 mg L<sup>-1</sup>.<sup>2</sup> O teor de CO<sub>2</sub> livre está relacionado com o pH e a alcalinidade da água como observado nas equações (1) e (2).

Nos terminais de rede, onde é coletada a água tratada na ETA sede, o teor médio mensal de CO<sub>2</sub> é de 2,35 mg de CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. No poço de Queimados a concentração média mensal de gás carbônico na água é de 1,70 ppm e no poço de Cerro Azul este valor é de 5,56 ppm.<sup>14,17</sup>

A ausência de CO<sub>2</sub> em águas tratadas impede a corrosão da rede, principalmente dos materiais a base de cimento e tubos de ferro fundido. O oxigênio dissolvido na água é agressivo em relação ao ferro que, reage produzindo Fe(OH)<sub>2</sub> e Fe(OH)<sub>3</sub>, porém, forma-se um filme de certo modo protetor, que permanece no próprio local; o carbonato de cálcio existente na água se precipita nesta película, preenchendo os vazios do filme e formando um verdadeiro cimento. Se a água contém CO<sub>2</sub> livre, irá não só dissolver o cimento, como também reagirá com o Fe(OH)<sub>2</sub>, formando Fe(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, que é solúvel.<sup>2</sup>

## 5.6 Cloro Residual

O cloro é adicionado à água em tratamento com a finalidade primordial de desinfetá-la, isto é, matar os microrganismos patogênicos que eventualmente escapem dos processos anteriores da estação de tratamento de água. Por ser um poderoso bactericida, o cloro promove a desinfecção da água por ação oxidante.<sup>15</sup>

Ao se clorar a água, normalmente adiciona-se um excesso de cloro, responsável pelo surgimento do denominado cloro residual. Esse cloro garantirá à água distribuída um desejável efeito residual. Isto significa que, se por alguma razão a água distribuída vier a se contaminar na rede ou nos reservatórios, ela ainda será capaz de combater essa contaminação.

A reação do cloro com a água, forma os ácidos hipocloroso e clorídrico:



Em soluções diluídas e em valores de pH acima de 4,0 o equilíbrio da equação anterior é bastante deslocado para a direita, de tal forma que muito pouco cloro molecular ( $\text{Cl}_2$ ) passa a existir em tais soluções.<sup>15</sup>

O ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ) é um ácido fraco, e dissocia-se muito pouco quando o pH é inferior a 6. Tendo em vista que o ácido hipocloroso é um desinfetante mais eficiente que o íon hipoclorito, conclui-se que valores mais baixos de pH favorecem a desinfecção.

A análise efetuada no laboratório da ETA usa o reagente  $\text{Cl}_2 - 1\text{B}$ , a base de dialquil-1,4-fenilenodiamino, o qual forma um complexo de cor rosa na presença de cloro ( $\text{Cl}_2$ ), ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ) e o íon hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ). A reação ocorre em uma faixa de pH de 5,5 – 6,5.

A ETA sede de Rio Negrinho usa o cloro gás para a desinfecção da água e a concentração média mensal nos terminais de rede é de  $0,69 \text{ mg L}^{-1}$  de cloro. Na saída do tratamento o cloro também é monitorado, tendo em média uma concentração mensal de 1,44 ppm.<sup>17</sup>

Nos poços, o SAMAE de Rio Negrinho usa o hipoclorito de cálcio, o qual é dosado para que a concentração de cloro não diminua muito, mantendo uma média mensal entre 1,00 e  $0,68 \text{ mg L}^{-1}$  no poço de Queimados e Cerro Azul, respectivamente. A Portaria 518 do Ministério da Saúde estabelece um teor mínimo de cloro residual livre de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  após a desinfecção e a manutenção de no mínimo  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$  em qualquer ponto da rede de abastecimento.<sup>14,17</sup>

## 5.7 Flúor

A fluoretação das águas de abastecimento vem sendo praticada em todo o país, em quase todos os sistemas abastecedores, como forma de prevenção da cárie dentária. O acúmulo de conhecimentos sobre a aplicação de fluoreto sistêmico para redução de cárie dentária, remonta a quase 200 anos. Além de reduzir o crescimento de *Streptococcus mutans*, microorganismo considerado como responsável pela iniciação da cárie, o flúor atua também no metabolismo da microflora da placa, reduz a solubilidade do esmalte e aumenta a remineralização na superfície do dente.<sup>16</sup>

O Ministério da Saúde através da Portaria 518 de 25 de março de 2004 estabelece que a concentração máxima permitida de íons fluoretos para as águas potáveis é de  $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ .<sup>14</sup>

Este valor previne efetivamente a cárie dental sem prejuízo à saúde, pois um excesso de íon fluoreto produz fluorose dental e a níveis muito elevado pode causar alterações nos ossos (de 8 a 20 mg L<sup>-1</sup> de F<sup>-</sup> L<sup>-1</sup>).<sup>16</sup>

A exatidão da determinação de íons fluoretos teve a sua importância aumentada com o aumento do hábito de fluoretação de águas de abastecimento como uma medida de saúde pública. Na quantificação de íon fluoreto foi utilizado o reagente “SPANDS”, solução de arsenito de sódio 0,1 % (m/v) em meio ácido. Este reagente ao ser adicionado a água forma uma mistura de coloração vermelha. Após um certo tempo de reação, o íon fluoreto reage com parte do arsenito formando um composto incolor, desta forma descorando a cor vermelha, numa quantidade proporcional à concentração de íon fluoreto.

No poço de Queimados existe uma concentração média de íon fluoreto de 1,42 ppm, e tal valor é natural, ou seja, não é dosado flúor nesta água. No poço de Cerro Azul e na ETA sede o flúor é adicionado através de uma solução de fluossilicato de sódio. Sua concentração média mensal é de 0,40 e 0,90 ppm no poço de Cerro Azul e na ETA sede, respectivamente. Na saída do tratamento a concentração média de flúor é de 0,82 ppm.<sup>17</sup>

## 5.8 Oxigênio Consumido

A informação sobre a quantidade de oxigênio consumido é útil para definir alterações da qualidade da água a ser tratada e indicar a efetividade do processo de tratamento aplicado, além de indicar o desenvolvimento de microorganismos nas unidades de tratamento.<sup>21</sup>

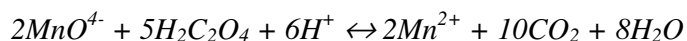
Este método baseia-se na oxidação da matéria orgânica por parte do permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) pelo oxigênio ativo, liberado quando se aquece permanganato de potássio em presença de um ácido forte, neste caso utilizando-se o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) em função do íon sulfato não ser afetado pelo permanganato, que não o consome.<sup>21</sup>

O permanganato é adicionado em excesso, e na presença de calor, oxida o material redutor da amostra, no caso, só a matéria orgânica carbonatada é oxidada, porém não na sua totalidade; a matéria nitrogenada não é atacada. O teste não diferencia matéria orgânica estável de matéria orgânica instável.<sup>21</sup>

Após o aquecimento, deverá haver permanganato de potássio remanescente, que é a garantia de que todo o material redutor foi oxidado. Então se adiciona uma solução redutora,

neste caso, utiliza-se o oxalato de amônio  $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4]$ , em quantidade estequiométrica ao permanganato adicionado previamente. Logicamente, ocorrerá um excesso de oxalato equivalente ao permanganato que tenha sido consumido pelas substâncias oxidáveis contidas na amostra. O excesso de oxalato será titulado com permanganato, sendo que o volume gasto na titulação é equivalente ao material redutor presente na amostra.

Segue abaixo equação referente a reação do íon permanganato com o íon oxalato em meio ácido.



Esta análise não é feita para as águas dos poços e na água da ETA sede a concentração média mensal de oxigênio consumido é de  $1,50 \text{ mg L}^{-1}$ .<sup>17</sup>

## 5.9 Dureza Total

O índice de dureza da água é um dado muito importante, sendo usado para avaliar a sua qualidade. A composição química da água e, portanto, a sua dureza, depende em grande parte do solo da qual procede.<sup>22</sup>

A dureza é provocada pela presença de sais de cálcio e magnésio. O uso da água com excesso destes íons pode levar a problemas de incrustações, corrosão e a perda de eficiência na transmissão de calor em caldeiras e sistemas de refrigeração. Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados tais como  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  entre outros. Também definimos a dureza da água como a capacidade de uma água em consumir sabão, onde os sais de cálcio e magnésio reagem com o sabão para formar sais insolúveis de ácidos graxos.<sup>23</sup>

Certos metais podem também ocasionar dureza na água, tais como, alumínio, ferro, manganês, estrôncio e zinco. Entretanto, os cátions presentes em maiores concentrações são o cálcio e o magnésio; sendo sua concentração total expressa como carbonato de cálcio.<sup>23</sup>

A dureza de carbonatos é devida aos carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio e pode ser removida pela ebulição da água; a dureza de não carbonatos, chamada de dureza permanente, é devida aos sulfatos, cloretos e nitritos de cálcio e magnésio.<sup>16</sup>

Através de método titulométrico, os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram titulados com EDTA em  $\text{pH} \cong 10$  para formar um cátion-complexo solúvel e incolor, tendo como indicador de ponto final de titulação, o Negro de Eriocromo T. O complexo de coloração vinho formado por

Negro de Eriocromo T- $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  é menos estável que íon formado entre estes íons e o EDTA. Logo, com a adição do EDTA na amostra, a coloração vinho muda para azul, que é a cor do Negro de EriocromoT puro em meio alcalino.

A dureza da água no poço de Cerro Azul é de  $1,22 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ , já na água tratada pela ETA sede o valor médio encontrado é de  $2,74 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ .<sup>17</sup>

De acordo com os teores de sais de cálcio e magnésio expressos em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ , a água pode ser classificada conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Classificação da água em teores de dureza.<sup>16,23</sup>

Água mole	até $50 \text{ mg L}^{-1}$ de $\text{CaCO}_3$
Água moderadamente dura	de $50$ a $150 \text{ mg L}^{-1}$ de $\text{CaCO}_3$
Água dura	de $150$ a $300 \text{ mg L}^{-1}$ de $\text{CaCO}_3$
Água muito dura	acima de $300 \text{ mg L}^{-1}$ de $\text{CaCO}_3$

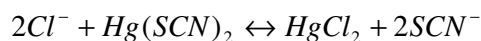
Considerando os dados da Tabela 2, a água tratada e a água do poço de Cerro Azul são consideradas como uma água mole, estando abaixo de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ .

O Ministério da Saúde não exige uma faixa de dureza para a água tratada, esta análise é feita somente para um controle próprio.

## 5.10 Cloretos

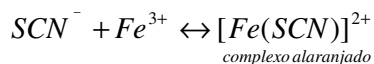
Cloretos são encontrados em águas naturais em quantidades muito variáveis, sua presença torna-se objetável quando acima de  $250 \text{ mg L}^{-1}$ . O conhecimento do teor de cloretos das águas tem por finalidade obter informações sobre o seu grau de mineralização ou indícios de poluição, como esgotos domésticos e resíduos industriais. Os cloretos são facilmente determinados, através de processos volumétricos empregando indicadores apropriados.<sup>16</sup>

O método para a análise de cloretos baseia-se no fato de que os cloretos presentes na amostra reagem com o tiocianato de mercúrio, para formar cloreto de mercúrio e liberar o íon tiocianato, conforme equação química:



Os íons tiocianato reagem com os íons férricos da solução de íons férricos, formando um complexo de cor alaranjada, denominado tiocianato férrico, conforme a equação química:





A quantidade de complexo formado é proporcional à concentração de cloretos presentes na amostra.

As águas tratadas na ETA sede do SAMAE de Rio Negrinho, apresentam um teor baixo de cloretos, aproximadamente  $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ , visto que a Portaria 518 do Ministério da Saúde determina como  $250 \text{ mg L}^{-1}$  o valor máximo permitido.<sup>14</sup> Em águas subterrâneas não é determinada a concentração de cloretos.

### 5.11 Digestão

Diversos procedimentos analíticos exigem a digestão da amostra. A digestão consiste no uso de substâncias químicas e calor, com o objetivo de quebrar um composto químico mais complexo, transformando-o em componentes mais simples, os quais possam ser analisados.

Na ETA usa-se a digestão da amostra para a análise de ferro e alumínio nas amostras de água.

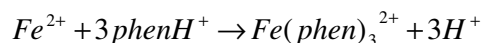
### 5.12 Ferro Total

O ferro é um metal de elevada abundância na crosta terrestre; sua abundância na natureza acarreta uma poluição dos mananciais devido à lixiviação de solos e rochas cristalinas. Isto é aumentado por fontes artificiais, como águas e lodos efluentes de alguns processos industriais.

O ferro na maioria das vezes está associado ao manganês, e confere a água um sabor amargo adstringente e coloração amarelada e turva, característica de ferrugem. Os sais ferrosos são bastante solúveis em água. São facilmente oxidados, formando os hidróxidos férricos, que tendem a flocular e a decantar.<sup>2,24</sup>

O reagente para ferro, denominado “Ferro Ver” (50,0 % de tiosulfato de sódio (m/m), 5,0 % do sal do ácido 1,10-fenantrolina-p-toluenosulfônico (m/m), 20,0 % de hidrossulfito de sódio (m/m), 5,0 % de citrato de sódio (m/m) e 20,0 % de metabissulfito de sódio (m/m)), reage com todo o ferro solúvel e com a maioria das formas insolúveis de ferro presentes na amostra, para produzir ferro ferroso solúvel.

Este ferro ferroso solúvel produzido reage com o indicador ortofenantrolina (1,10 – fenantrolina) presente no “Ferro Ver”, desenvolvendo uma coloração alaranjada, cuja intensidade é proporcional à concentração de ferro presente na amostra. A reação que ocorre é a seguinte:



O Ministério da Saúde através da Portaria 518 determina que a concentração máxima de ferro permitida é de 0,30 ppm, visto que valores mais altos causam cor na água e podem manchar roupas e aparelhos sanitários.<sup>14</sup>

A concentração de ferro na água tratada da ETA sede é de 0,027 ppm, no poço de Queimados a concentração é de 0,05 ppm. Já no poço de Cerro Azul a concentração média de ferro é de 0,25 ppm, o que deixa a água com uma cor mais elevada como observado anteriormente.<sup>17</sup> O teor de ferro do rio Negrinho, água bruta, não é determinado pelo SAMAE.

### 5.13 Alumínio Residual

O alumínio é o terceiro elemento químico mais abundante no solo, portanto, é bastante suscetível de ser encontrado nas águas. Os limites fixados para águas de abastecimento visam apenas o controle deste parâmetro no sistema de tratamento para que se previna sua precipitação e sedimentação nas redes de distribuição caso se encontre em altas concentrações.<sup>2</sup>

As quantidades maciças de sulfato de alumínio, diariamente utilizadas para o tratamento de águas através do mundo, aparentemente, jamais causaram problemas toxicológicos. Entretanto, recomenda-se a realização de pesquisas no sentido de proteção da vida aquática quando se suspeita da presença de alumínio iônico. Alguns autores alertam que o alumínio pode ter toxicidade consideravelmente maior do que tem sido assumido.<sup>2,24</sup>

O indicador de alumínio “Aluminon” (ácido aurintricarboxílico), presente no reagente “Alu Ver 3”, reage com o alumínio da amostra produzindo uma cor vermelha-alaranjada. A intensidade desta cor é proporcional à quantidade de alumínio presente na amostra. O ácido ascórbico é adicionado para remover a interferência do ferro. O reagente “Bleaching 3” é usado para eliminar a cor formada pelo reagente “aluminon”.

A Portaria 518 determina que a concentração de alumínio em águas tratada não deve ultrapassar 0,2 ppm.<sup>14</sup>

A água tratada pela ETA sede, a qual utiliza o sulfato de alumínio como coagulante, apresenta uma concentração média mensal de alumínio de 0,02 ppm. O baixo teor de alumínio nas águas tratadas indica uma boa coagulação e floculação e também a eficiência dos filtros. Já nos poços a concentração é mínima, aproximadamente 0,01 ppm e é referente ao alumínio natural existente na terra, sendo a análise feita anualmente.<sup>17</sup>

### **5.14 Análises Microbiológicas**

As águas de abastecimento precisam passar por análises microbiológicas, pois uma água translúcida não é um indicativo de água potável, ou seja, que esta água esteja livre de microrganismos patogênicos.

Esse processo consiste na identificação, nas amostras de água, de bactérias pertencentes ao grupo denominado coliformes fecais. Estes são bactérias que vivem nos intestinos de todas as pessoas e ajudam na digestão delas alimentando-se de alguns subprodutos desta digestão. A presença de coliformes fecais na água indica a presença de esgotos e a possibilidade da presença de patogênicos.<sup>12</sup>

Na ETA sede do SAMAE de Rio Negrinho são feitas análises para a determinação de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*), coliformes totais e bactérias heterotróficas. Com relação aos coliformes termotoleráveis, deve haver ausência na água para o consumo humano e também na água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede). Para coliformes totais, na saída do tratamento deve haver ausência total e no sistema de distribuição, a ausência em 95 % das amostras examinadas no mês.

Quando o teor de cloro residual está acima de 0,80 ppm, não há a presença de microrganismos na água, mas, entretanto, quando a água tem uma concentração abaixo de 0,80 ppm, a água pode conter alguma bactéria e então deve ser feita a verificação, ou seja, a amostra deve ser incubada nos meios de cultura. As águas distribuídas para a população pelo SAMAE de Rio Negrinho possui teor nulo de bactérias heterotróficas, coliformes totais e coliformes termotolerantes em 100 mL de cada amostra analisada.<sup>14,16,17</sup>

## 6 CONCLUSÃO

A água que foi considerada um bem universal, esta ameaçada por inúmeros atos humanos. Seja pelos restos da industrialização, seja por negligência do Estado ou da sociedade. Notamos que estes instrumentos, Estado, Mercado e Sociedade, parecem trilhar caminhos opostos em relação ao meio ambiente.

Penso que a Sociedade deve urgentemente, usar de seus direitos prerrogativas e de seus órgãos representativos, e intimar o Estado e o Mercado para trilhar caminhos mais limpos para o meio ambiente. Caso não ocorra isto vamos acabar descobrindo que dinheiro não dá para beber.

A água tratada na ETA sede de Rio Negrinho está obedecendo a Portaria 518 do Ministério da Saúde em todos os seus aspectos. A água dos poços também está enquadrada na legislação vigente, mantendo assim a potabilidade necessária à população.

Os poços possuem características diferentes em relação às águas superficiais, a mais marcante é a alcalinidade que é acima de  $100 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ . O poço de Cerro Azul tem um excesso de cor, proveniente do alto teor de ferro nessa água, este problema está sendo resolvido adicionando à água o ortopolifosfato, que é um agente quelante.

Contudo, tive conclusões satisfatórias através deste estágio, pois tive oportunidade de conhecer como funciona uma Estação de Tratamento de Água, bem como acompanhar e realizar as análises para o controle de qualidade da água e descobrir como a água chega em nossas casas sem nenhuma contaminação.

Com os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de química, pude desenvolver atividades e aplicar estes conhecimentos no SAMAE de Rio Negrinho, destacando a importância do estudo em ambas as disciplinas, tanto teóricas como práticas.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- 1- NETO, J. M. e A.; et. al. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**, v.1, 2. ed., São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987, p. 29-62.
- 2- CETESB, **Operação e Manutenção De ETA**, v. 1 e 2, São Paulo: Tilibra, 1973.
- 3- GORE, Albert A **Terra em Balanço**, 1. ed., São Paulo: Editora Brasileira, 1993, p.110.
- 4- DI BERNARDI, Luiz **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**, v. 1, Rio de Janeiro: ABES, 1993, p. 6-256.
- 5- LEME, Francisco Paes **Engenharia do Saneamento Ambiental**, 2. ed., Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984, p. 21-168.
- 6- DIAS, Genebaldo Freire **Educação Ambiental Princípios e Práticas**, 4. ed., São Paulo: Gaia, 1992.
- 7- HAMMER, Mark J. **Sistemas De Abastecimento De Água e Esgotos**, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979.
- 8- NETTO, J. M. A.; et. al. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**, v. 2, 2. ed., São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1976.
- 9- Acquaquímica – Informativo da empresa SETA, distribuidora do produto Acquapol C1.
- 10- CASTRO, F. Polímero orgânico natural trata água e efluentes, **Revista Química e Derivados**. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/revista/qd407/atualidades3.htm>>. Acesso em: 09 out. 2004.
- 11- GUEDES, C. D., PEREIRA, J. G., LENA, J. C., PAIVA, J. F. Coagulação/floculação de suspensões ricas em óxidos de ferro por sulfato de alumínio. **Química Nova**, v.27, n. 5, p. 715-719, 2004.
- 12- SABESP, **O que fazemos: Captação e distribuição de água**. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/o\\_que\\_fazemos/captacao\\_e\\_distribuicao\\_de\\_agua/tratamento\\_de\\_agua.htm](http://www.sabesp.com.br/o_que_fazemos/captacao_e_distribuicao_de_agua/tratamento_de_agua.htm)>. Acesso em 09 out. 2004.
- 13- **Tratamento de água**. Disponível em: <[http://www.editorasaraiva.com.br/eddid/ciencias/explorando/5\\_agua\\_7.html](http://www.editorasaraiva.com.br/eddid/ciencias/explorando/5_agua_7.html)>. Acesso em: 31 out. 2004.
- 14- COSTA, Humberto Portaria n. 518 de 25 de março de 2004 do **Ministério da Saúde**.

- 15- VIANNA, Marcos Rocha **Casas de Química para Estações de Tratamento de Água**, Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada Editora, 1994.
- 16- STANDARD METHODS, **For the Examination of water and wastewater**, 19. ed., Washington: Ed. American Public, Health Association, 1995.
- 17- Relatórios do SAMAE de Rio Negrinho referente ao mês de outubro de 2004.
- 18- MACEDO, Jorge Antônio Barros de **Águas & Águas**, Juiz de Fora – MG: Ortofarma, 2000.
- 19- SPERLING, Marcos Von **Introdução a Qualidade das Águas a ao Tratamento de Esgotos**, 2. ed., Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.
- 20- ANDRADE, N. J., MACEDO, J.A.B., **Análise físico-químicas e microbiológicas de águas, detergentes e sanificantes**, Viçosa-MG:UFV- Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- 21- ADAD, Jesus Miguel Tajra **Controle Químico de Qualidade**, Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A., 1982.
- 22- BACCAN, N., et. al. **Química Analítica Quantitativa Elementar** 3. ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2001.
- 23- VOGEL, Arthur I., **Análise Química Quantitativa**, 5. ed., Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1989.
- 24- GOLTERMAN, H. L., et. al. **Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters**, 2. ed., Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978.

# ANEXOS

## Anexo 1

