



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

ERICK GUSTAVO CORREA DA COSTA

ESTUDO COMPARATIVO DE CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA BRUTA  
SUBMETIDA A TRATAMENTO COM CLORETO DE POLIALUMÍNIO E  
SULFATO DE ALUMÍNIO

Assis  
2011

ERICK GUSTAVO CORREA DA COSTA

ESTUDO COMPARATIVO DE CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA BRUTA  
SUBMETIDA A TRATAMENTO COM CLORETO DE POLIALUMÍNIO E  
SULFATO DE ALUMÍNIO

Trabalho de conclusão de curso de  
Curso apresentado ao Instituto  
Municipal de Ensino Superior de  
Assis, como requisito do Curso de  
Graduação

Orientador: Ms. Patrícia Cavani Martins de Mello

Área de Concentração: Química

Assis  
2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

COSTA, Erick Gustavo Correa da

Aplicação do policloreto de alumínio no tratamento de água e resíduos industriais visando levantamento custo e benefícios / Erick Gustavo Correa da Costa. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA -- Assis, 2011.

24p.

Orientador: Ms. Patrícia Cavani Martins de Mello.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

1.Tratamento de água. 2.Clarificação

CDD:660

Biblioteca  
da FEMA

ESTUDO COMPARATIVO DE CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA BRUTA  
SUBMETIDA A TRATAMENTO COM CLORETO DE POLIALUMÍNIO E  
SULFATO DE ALUMÍNIO

ERICK GUSTAVO CORREA DA COSTA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Municipal de  
Ensino Superior de Assis, como  
requisito do Curso de Graduação,  
analisado pela seguinte comissão  
examinadora:

Orientador: Ms. Patrícia Cavani Martins de Mello

Analisador: Ms. Nilson José dos Santos

Assis  
2011

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e todas as pessoas que estiveram comigo nessa jornada de quatro anos de estudo, principalmente a Deus que me deu forças para vencer cada obstáculo me dando saúde e proporcionando vitórias e conhecimentos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as vezes que me senti perdido e iluminou meu caminho, pela saúde concebida e coragem para enfrentar todos os obstáculos.

Aos meus pais que me deram forças e me apoiaram, principalmente pelo amor com que me educaram. Aos meus avós que me guiaram com permissão concebida por Deus. Aos meus irmãos, sobrinhos que torceram pela minha vitória acadêmica e aos demais familiares que estão felizes e orgulhosos do meu feito.

A minha namorada e futura esposa Aline Claro, que me aturou nos momentos de estresse e sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, pelo amor, paciência e companheirismo.

Pelo sorriso e companheirismo de todos os meus amigos que estiveram junto comigo nessa jornada na faculdade e no meu serviço, principalmente ao meu amigo Edmar Pereira Morais “Skol”, por trocar de horário comigo todas as vezes que minha escala de serviço coincidia com horário de aula.

A professora Ms. Patrícia Cavani Martins de Mello, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho. E a todos os professores que me passaram os seus conhecimentos na vida acadêmica, fazendo de mim um químico industrial.

A todos que, com boa intenção, colaboraram até a conclusão deste trabalho, o meu muito obrigado.

Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

Ayrton Senna

## RESUMO

Os mananciais de águas superficiais sofrem modificações em suas características naturais devido a sua exposição ao ambiente e principalmente pela ação antrópica. O desmatamento e o lançamento de efluentes domésticos e industriais são os principais responsáveis pela degradação e contaminação dos recursos hídricos usados para o abastecimento público. Um produto de grande importância na clarificação da água é o agente coagulante. A escolha de um coagulante depende de alguns fatores como: características da água, oferta do produto no mercado, preço e eficiência no tratamento. Este trabalho teve por objetivo obter uma dosagem do Policloreto de Alumínio (PAC) que se tornasse viável técnica e economicamente em relação ao Sulfato de Alumínio, visando diminuir as perdas operacionais e o consumo de coagulante. Os resultados das análises laboratoriais, consumo de produtos químicos e gasto operacional de água utilizados no período identificaram o coagulante mais eficiente, suas vantagens e desvantagens no processo como coagulante no tratamento de água e resíduos industriais.

**Palavras-chave:** Tratamento de água; Turbidez; Cloreto de polialumínio; Sulfato de alumínio, Jar-test.

## ABSTRACT

The superficial sources water suffers modifications in its natural features due to its exposure to the environment and principally by the anthropic action. The deforestation and the launching of domestic and industrial effluents are the main responsible for the degradation and contamination of hydro resources used for public supply. A product of big importance in the clarification of water is the coagulating agent. The choice of a coagulant depends on some factors like: water features, the product offering in the market, price and efficiency in the treatment. This study had the goal to get a dose of Aluminum Polychloride (APC) to become viable and economical technique compared the Aluminum Sulfate, in order to reduce operational losses and the consume of coagulant. The results of laboratory analysis, consumption of chemical products and operating waste of water used in the period identified the most efficient coagulant, its advantages and disadvantages in the process as coagulant in the treatment of water and industrial waste.

**Keywords:** Water treatment; Turbidity; Polyaluminium chloride; Aluminum sulfate; Jar-test.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Especificações técnicas do PAC.....	19
Tabela 2	–Boletim Jar Test.....	32
Tabela 3	– Resultados dos Jar Test realizados no entre agosto e setembro de 2011.....	33

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Comparação dos diâmetros de flocos formados em função do pH com o uso da PAC (o) frente ao uso do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (x) (TF: Tamanho do floco).....	20
Figura 2	– Comparação da velocidade de decantação dos flocos com o uso do PAC (o) e do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (x) (T = tempo de decantação em minutos).....	21
Figura 3	– Comparação do pH e da alcalinidade depois da adição de PAC e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .....	22
Figura 4	– Comparação da turbidez residual (TR) em função do pH, usando-se PAC (o) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .....	22
Figura 5	– Modelo de sistema de filtração de água.....	25
Figura 6	– Comparação visual da amostra de água antes e depois da filtragem.....	26
Figura 7	– Correlações da alcalinidade da água com o pH e implicações aos sistemas de distribuição.....	27
Figura 8	– Jar test com o coagulante PAC.....	38
Figura 9	– Variações observadas do parâmetro turbidez da água nos tratamentos com PAC e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ no período do estudo.....	38
Figura 10	– Variações observadas do parâmetro ph da água nos tratamentos com PAC e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ no período do estudo.....	39
Figura 11	–Variações observadas do parâmetro Cor da água nos tratamentos com PAC e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ no período do estudo.....	40
Figura 12	– Variações observadas do parâmetro alcalinidade da água nos tratamentos com PAC e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ no período do estudo.....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PAC	Policloreto de alumínio
TF	Tamanho do floco
T	Tempo de decantação
pH	Potencial hidrogenionico
PPM	Partes por milhão

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. VANTAGENS ECONÔMICAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA E RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>17</b>
2.1 MERCADO ATUAL E PERSPECTIVAS PARA O REUSO E TRATAMENTO DE ÁGUA.....	18
2.2 COAGULANTES.....	18
2.3 VANTAGENS DO POLICLORETO DE ALUMÍNIO .....	20
2.4 TESTE DE COAGULAÇÃO.....	23
2.5 TURBIDEZ	23
2.6 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO	24
2.7 ALCALINIDADE	24
2.8 COR	24
<b>3. LICENCIATURA.....</b>	<b>25</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
4.1 MATERIAIS E REAGENTES.....	28
4.2 EQUIPAMENTOS.....	28
4.3 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA PARA OS TESTES DE COAGULAÇÃO.....	29
4.4 DETERMINAÇÃO DO JAR-TEST.....	29
4.5 DETERMINAÇÃO DE TURBIDEZ .....	30
4.6 DETERMINAÇÃO DE pH.....	30
4.7 DETERMINAÇÃO DE ALCALINIDADE.....	30
4.8 DETERMINAÇÃO DE COR.....	31
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
5.1 VARIAÇÕES OBSERVADAS DO PARÂMITO TURBIDEZ DA ÁGUA NOS TRATAMENTOS COM PAC E $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ NO PERÍODO DO ESTUDO.....	37

5.2	VARIAÇÕES OBSERVADAS DO PARÂMITO pH DA ÁGUA NOS TRATAMENTOS COM PAC E $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ NO PERÍODO DO ESTUDO.....	38
5.3	VARIAÇÕES OBSERVADAS DO PARÂMITO COR DA ÁGUA NOS TRATAMENTOS COM PAC E $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ NO PERÍODO DO ESTUDO.....	39
5.4	VARIAÇÕES OBSERVADAS DO PARÂMITO ALCALINIDADE DA ÁGUA NOS TRATAMENTOS COM PAC E $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ NO PERÍODO DO ESTUDO.....	40
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS :.....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os mananciais de águas superficiais sofrem modificações em suas características naturais devido a sua exposição ao ambiente e principalmente pela ação antrópica. O desmatamento e o lançamento de efluentes domésticos e industriais são os principais responsáveis pela degradação e contaminação dos recursos hídricos usados para o abastecimento público (CONSTANTINO e YAMAMURA, 2009).

A piora na qualidade da água dos mananciais, aliada à preocupação dos grandes consumidores em economizar o caro e escasso insumo, tem feito a etapa inicial do tratamento de água, a clarificação, ser cada vez mais valorizada por clientes e fornecedores (SILVA, 2010).

Com as fontes de abastecimento poluídas, a função dessa fase físico-química de remover sólidos em suspensão, turbidez, ferro e cor passaram a ter peso redobrado para os tratadores. A crescente tendência de reuso de água, sobretudo na área industrial, também gerou novas exigências à clarificação, a fim de facilitar a recirculação em etapas posteriores do tratamento, no processo produtivo ou em sistemas de resfriamento e de geração de vapor, e para reduzir a quantidade considerável de lodo gerado pelos decantadores (SCHUURMAN e FERREIRA, 2009).

A utilização de coagulantes e floculantes é indispensável para a realização de um adequado processo de clarificação de água e efluentes. Visando as necessidades, empresas começam a investir nos coagulantes inorgânicos (SCHUURMAN e FERREIRA, 2009).

O cloreto de polialumínio (PAC) tem chamado a atenção na substituição a coagulantes mais tradicionais, como o sulfato de alumínio ou o sulfato férrico, pois a baixa alcalinidade média da água brasileira desfavorece o uso dos coagulantes inorgânicos mais convencionais, os sulfatos de alumínio e férrico, que diminuem seu pH e

demandam cal para neutralização e aumentam a geração de lodo de esgoto (GUIMARÃES et al., 2009).

O PAC é um coagulante inorgânico de alta eficiência pré-polimerizado, utilizado em águas de difícil floculação. Sua composição básica estabelece um rendimento superior a todos os produtos existentes, pois devido a sua cadeia polimérica inorgânica consegue a formação de flocos mais densos e aumenta a velocidade de decantação, melhorando cor e turbidez na água decantada (MOJAVE, 2008).

Este trabalho teve como objetivo comparar a eficiência do cloreto de polialumínio com o sulfato de alumínio, através da realização do teste de jarros, em amostras provenientes do sistema de tratamento de água da estação Andirá-PR.

## **2 - VANTAGENS ECONÔMICAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA E RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

Depois de anos em que não houve investimento no segmento de tratamento de efluentes no País, as empresas vêm com otimismo a consciência que começa a surgir da necessidade não só ambiental, mas também financeira de tratar os resíduos industriais. No momento em que os olhos se voltam para a necessidade de preservar e/ou recuperar nossos rios e demais fontes de água potável, a necessidade de formas inteligentes de tratar os resíduos industriais passa a ser fundamental (SCHUURMAN e FERREIRA, 2009).

O tradicional tratamento, feito com coagulantes e floculantes, é uma das alternativas mais procuradas tanto pelas indústrias e empresas do setor de serviços quanto por companhias particulares de fornecimento de água e saneamento básico, para uma das etapas do processo, chamada de clarificação (SCHUURMAN e FERREIRA, 2009).

Um das formas de se economizar água na indústria é promover seu reciclo, após tratamento. A preocupação com o reciclo não é motivada apenas pela consciência ambiental. O custo da água, cada dia mais alto, e a legislação ambiental a ser obedecida também são fatores a ser considerados, não apenas no Brasil, mas em todo o mundo (ZAMPIERON e VIEIRA, 2009).

Com isso, os fabricantes de soluções para a área estão muito otimistas e apontam o mercado latino-americano como um dos mais promissores, com destaque para o Brasil, já que na Europa, por exemplo, o gasto com efluentes é muitas vezes superior ao do tratamento da água potável, uma tendência que deve chegar, mais cedo ou mais tarde, aos chamados países emergentes (ZAMPIERON e VIEIRA, 2009).

## 2.1. MERCADO ATUAL E PERSPECTIVAS PARA O REUSO E TRATAMENTO DE ÁGUA

A utilização de coagulantes e floculantes é indispensável para a realização de um adequado processo de clarificação de água e efluentes. Lembrando que o tipo de tratamento continua dependendo do que, de quanto se pretende remover e de quais contaminantes estão presentes na água e efluente, o mais importante, no momento atual, é a incessante busca pelo reuso da água após tratada, o que faz com que as empresas busquem maior eficiência nos seus sistemas de tratamento. Com isso, os melhores equipamentos e produtos químicos tendem a se sobressair em nosso concorrido mercado (GUIMARÃES et al. , 2009)

Estudos revelam que nos próximos anos a América Latina terá investimentos em tratamento de efluentes e de água industrial da ordem de US\$ 2,2 bilhões. Desse total, pouco acima da metade se voltará apenas ao mercado brasileiro (SILVA, 2010).

Nos dias atuais, com o uso racional e o reuso de água, diversas empresas buscam minimizar problemas relacionados à disponibilidade hídrica e ao lançamento de efluentes. Com isso a demanda por instalações e projetos de reuso de água vem crescendo devido ao aumento do custo da água e das limitações de descarte das águas que são utilizadas em indústrias (SILVA, 2010).

Existem inúmeras práticas para o tratamento de águas. A mais utilizada é o tratamento convencional, que oferece ótimo custo/benefício às empresas, pois é baseia-se em duas etapas: coagulação e floculação (GUIMARÃES et al. , 2009)

## 2.2. COAGULANTES

Os coagulantes são produtos naturais ou químicos usados no tratamento de águas e efluentes industriais de vários segmentos. Sua função é neutralizar as cargas negativas

das partículas em suspensão, possibilitando assim uma aglomeração dessas partículas, formando os chamados flocos. Os coagulantes mais comuns são o sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), aluminato de sódio ( $\text{NaAlO}_2$ ) e o PAC ( $\text{Al}_n(\text{OH})_m(\text{Cl})_{3n-m}$ ). Os sais de alumínio são os coagulantes mais utilizados nas ETAs, entre eles estão o sulfato de alumínio e o PAC, os quais foram avaliados nesse trabalho (CONSTANTINO e YAMAMURA, 2009).

O sulfato de alumínio tem a fórmula química  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , onde “n” representa aproximadamente 14 a 18 moléculas de água de cristalização. As principais especificações do sulfato de alumínio líquido se refere a sua densidade, que deve possuir o valor aproximado de  $1,3303\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (CONSTANTINO e YAMAMURA, 2009).

O PAC é um complexo poli-nuclear de íons de alumínio polymerizados, um tipo de polímero inorgânico de peso molecular medido em várias centenas de unidades. É geralmente formulado como:  $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$  combinado com pequenas quantidades de outros compostos. As principais especificações do PAC são apresentadas na tabela 1.

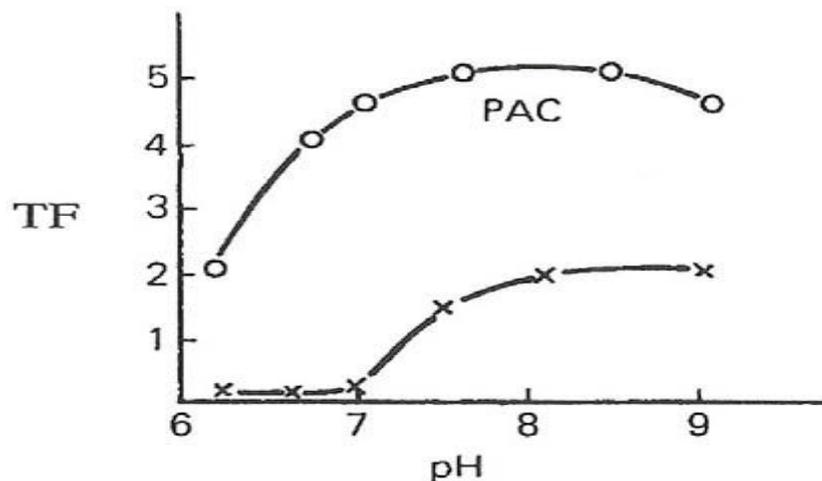
<b>Especificações Técnicas</b>	<b>Valor</b>
Teor de $\text{Al}_2\text{O}_3$	16 – 18 %
Material insolúvel	0,20%
pH (solução 1%) (25°C)	2,5 – 5,5
Densidade (25°C)	1,20 – 1,40 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Aspecto	Líquido viscoso límpido, de cor âmbar a castanho

**Tabela 1: Especificações técnicas do PAC (Fonte: NHEEL QUÍMICA, 2011)**

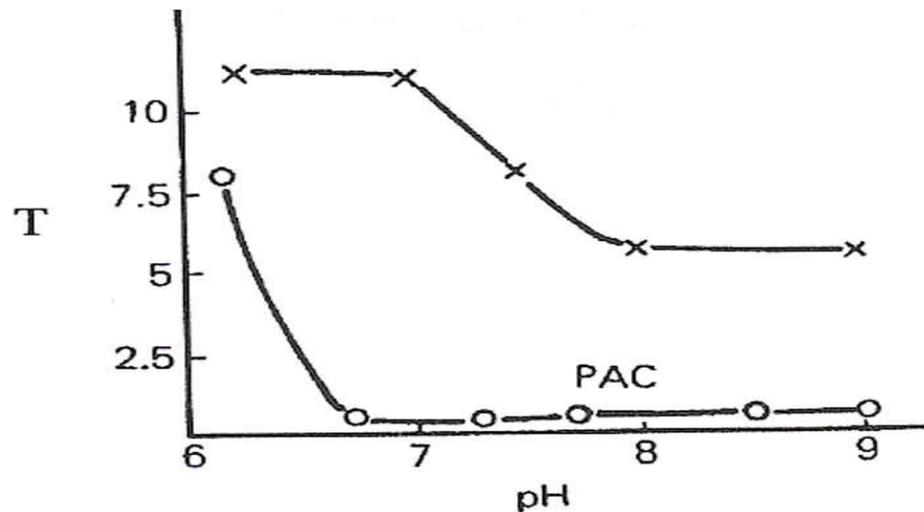
A relação  $m/3n$  representa a basicidade deste produto, e devido a esta característica o PAC libera durante a hidrólise, em igualdade de dosagem em íons metálicos, uma quantidade de ácido consideravelmente menor do que a liberada pelo Cloreto de Alumínio e pelos coagulantes tradicionais como o Sulfato de Alumínio, Cloreto Férrico e Sulfato Ferroso. Isso provoca uma menor variação do pH do meio tratado e um menor consumo de neutralizante para ajustar o pH ao seu valor original (CONSTANTINO e YAMAMURA, 2009).

### 2.3. VANTAGENS DO CLORETO DE POLIALUMÍNIO (PAC)

O cloreto de polialumínio coagula fortemente substâncias suspensas ou coloidais dispersas na água, produzindo bons flocos os quais descem rapidamente para formar um decantado facilmente filtrável, (Figura 1 e 2) . Desta forma, o tratamento de água com Cloreto de polialumínio pode ser feito de forma mais fácil do que com sulfato de alumínio ou outros compostos (HIDROALL, 2009)



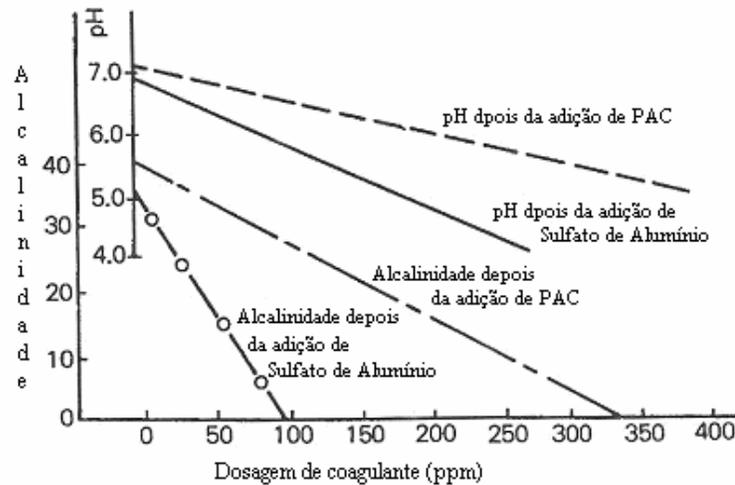
**Figura 1: Comparação dos diâmetros de flocos formados em função do pH com o uso da PAC (o) frente ao uso do  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  (x) (TF: Tamanho do flocos) (In: Hidroall, 2009)**



**Figura 2: Comparação da velocidade de decantação dos flocos com o uso do PAC (o) e do  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  (x) (T = tempo de decantação em minutos) (In: Hidroall, 2009)**

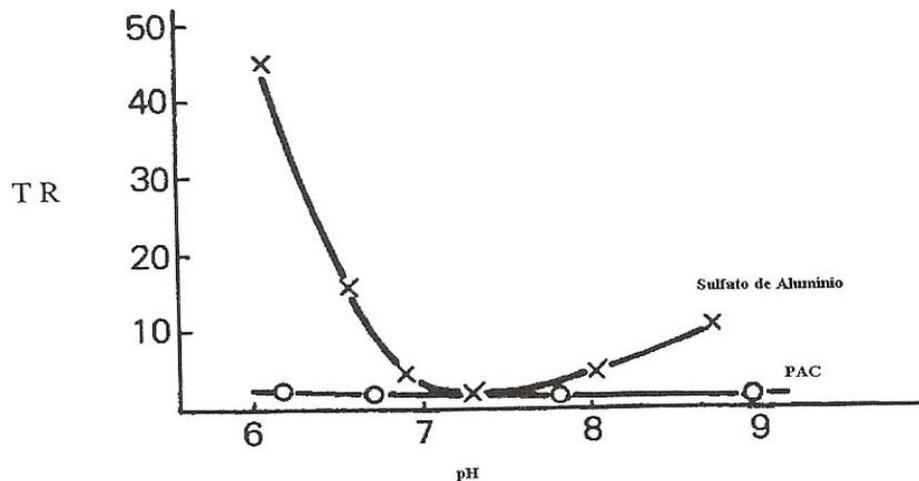
O PAC é facilmente manuseado, estocado e dosado. A solução pode ser diluída em água na concentração desejada, e esta operação pode também ser automatizada. Menores reservatórios de estocagem são usados com o PAC, se comparado com o  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ , pois em geral as embalagens de PAC apresentam-se em tambor de 50, 200 ou 1000L prontas para uso (MOJAVE, 2008), enquanto que o  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  se apresenta em sacas de até 40kg que deverão ser estocadas e previamente diluídas (275kg/ 2920L de água) antes do seu doseamento no sistema de tratamento (CIMIL, 2011).

Conforme a Figura 3, com a utilização do PAC a quantidade de cal adicionada é menor, se comparada com outros coagulantes, isso porque o pH da água permanece praticamente sem alteração, mesmo na possível situação de superdosagem de PAC (CONSTANTINO e YAMAMURA, 2009). O cloreto de polialumínio trabalha em uma faixa mais de pH, se comparado com o sulfato de alumínio ou outros floculantes. O PAC é geralmente eficaz em uma faixa de pH compreendida entre 6 e 9, mas em alguns casos ele funciona bem em faixas que vão de pH 5 até pH 10 (HIDROALL, 2009).



**Figura 3: Comparação do pH e da alcalinidade depois da adição de PAC e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (In: Hidroall, 2009)**

Observa-se na figura 4, que na faixa de pH entre 7 e 8, a eficiência do PAC é similar a do  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , ou seja, a turbidez residual é mantida baixa. O  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  por sua vez não apresenta eficiência na redução da turbidez fora da faixa de pH entre 7 e 8 (CONSTANTINO e YAMAMURA, 2009).



**Figura 4: Comparação da turbidez residual (TR) em função do pH, usando-se PAC (o)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (x) (In Hidroall)**

## 2.4. TESTE DE COAGULAÇÃO

A coagulação consiste em introduzir na água um produto capaz de neutralizar a carga dos colóides, geralmente elementos eletronegativos, com conseqüente formação de precipitados. O coagulante adicionado à água produz flocos, no entanto é necessário aumentar seu volume, seu peso e sobretudo sua coesão. O espessamento do floco é auxiliado por meio de uma difusão rápida e completa de coagulante, no momento da sua aplicação (agitação enérgica, porém de curta duração), seguida por uma agitação homogênea e lenta do conjunto com o fim de aumentar as possibilidades para que as partículas coloidais neutras se encontrem com as partículas do floco (COLOMBO, 2011)

A principal procedimento para testes de coagulação utilizados em estações de tratamento de água (ETA's), é o teste de jarros – JAR-TEST, pois possibilita a determinação das dosagens ótimas dos coagulantes a serem empregados (ROSSIN, 2008).

## 2.5 TURBIDEZ

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (e esta redução se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão (IPAQ, 2010). A turbidez também é um parâmetro que indica a qualidade estética das águas para abastecimento público. A leitura é feita através de feixe de luz emitido por uma lâmpada de tungstênio, que atravessa a cubeta e é desviado pelos sólidos suspensos da amostra. Quanto maior o índice de luz atravessar a amostra de água na cubeta, menor será a sua turbidez, ou seja, quanto menor a turbidez mais limpa será a água (FORTALEZA, 2011).

## 2.6 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

O pH é a expressão usada para falar do grau de alcalinidade ou acidez de um líquido ou solução e refere-se ao cologaritmo da concentração de íons-hidrogênio nele existente. De um líquido de acidez máxima, diz-se que seu pH é 14. Um líquido neutro é, logicamente, de pH 7. Quando nos referimos a uma água de pH 7,2 estamos falando de uma água ligeiramente alcalina e quando falamos de um pH de 6,8 estamos falando de uma água ligeiramente ácida (PH DA ÁGUA, 2005).

## 2.7 ALCALINIDADE

A alcalinidade da água é representada pela presença dos íons hidróxido, carbonato e bicarbonato. A importância do conhecimento das concentrações deste íon permite a definição de dosagens de agentes flocculantes, fornece informações sobre as características corrosivas ou incrustantes da água analisada. Todos os íons causadores da alcalinidade tem características básica, sendo assim reagente quimicamente com soluções ácidas, ocorrendo a reação de neutralização (TRATAMENTO DE ÁGUA, 2008).

## 2.8 COR

A cor da água se deve à presença de íons naturais como o ferro, o manganês, e até mesmo à presença de plâncton, húmus e sedimentos vegetais. O termo cor é utilizado geralmente para indicar a “cor verdadeira” da água, extraíndo sua turbidez. Já o termo “cor aparente” é usado para designar a cor resultante de substâncias dissolvidas na água, como as partículas em suspensão (SPLABOR, 2011).

### 3. LICENCIATURA

O teste de clarificação da água pode ser aplicado como aula prática de laboratório para alunos do ensino médio e ensino técnico em diversas áreas profissionais.

Os alunos seriam orientados a montar um sistema de clarificação de água, utilizando materiais do cotidiano e recicláveis, como garrafas PET, areia, pedra e cascalho. No laboratório, os alunos projetariam e montariam um filtro similar a mostrado na Figura 5.



**Figura 5: Modelo de sistema de filtração de água.**

Os alunos seriam orientados a analisar os parâmetros pH, cor, turbidez e alcalinidade, de amostras de água bruta e água tratada e os resultados obtidos seriam transportados para o cotidiano.

A influência de cada parâmetro poderia ser discutida em relação aos seus efeitos e origens na água, como poluição e incidência de alterações de saúde e qualidade da água.

Também poderia se discutir que o sistema seria comparável àquele existente em estações de tratamento de água, com menor eficiência.

A função da filtração será retirar partículas em suspensão presente na água, diminuindo a turbidez, ou seja, clarificando a amostra. Transferiríamos um pouco de água barrenta no filtro e depois de alguns minutos verificar-se-ia que a terra e outros sólidos suspensos mais grosseiros, ficariam retidos nas camadas do filtro que estavam no funil, tornando a água mais clara do que aquela que havia sido despejada no filtro, conforme mostra a figura 6.



**Figura 6 – Comparação visual da amostra de água antes e depois da filtragem**

Em relação ao parâmetro pH o educador pode abordar temas relacionados a produtos ácidos ou básicos do nosso dia a dia e falar sobre danos ambientais que as empresas

podem causar alterando pH dos mananciais se depositarem seus resíduos sem um tratamento adequado.

Discutindo o parâmetro alcalinidade, poderia se relacionar com questões de absorção de gases e sistema em equilíbrio, já que este parâmetro é um reflexo da intensidade de trocas gasosas do CO<sub>2</sub> atmosférico com a água dos rios e dissolução de componentes de seus leitos rochosos na água. Já que despejos industriais também influenciam neste parâmetro, o item poluição industrial também seria abordado.

A influencia da alcalinidade da água pode ser discutida em relação às suas relações com os outros parâmetros como o pH ou a transtornos a componentes de um sistema de distribuição, como mostra a figura 7.

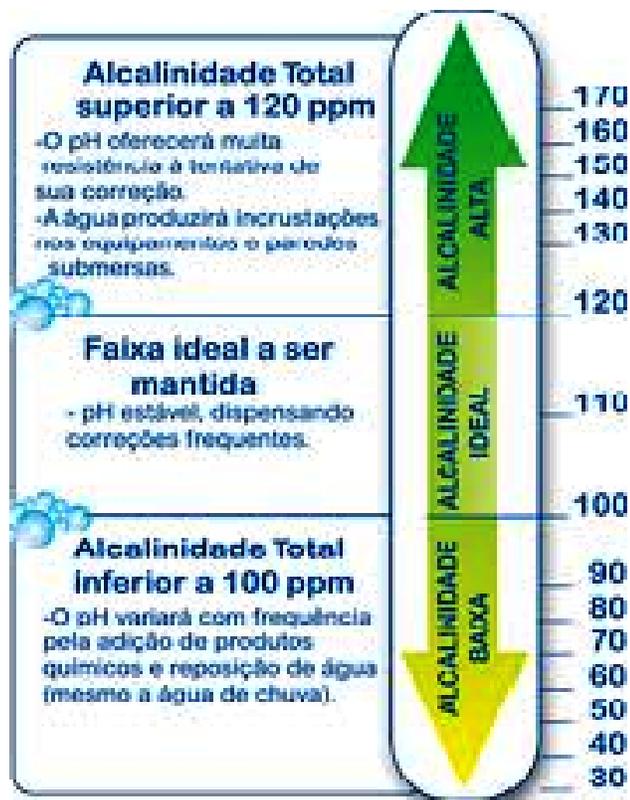


Figura 7: Correlações da alcalinidade da água com o pH e implicações aos sistemas de distribuição (Fonte: Google Imagens).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. MATERIAIS E REAGENTES

Ácido sulfúrico 0,02 N

Água bruta (entrada do sistema de tratamento)

Béquer de 250mL

Bureta de 15mL

Cubeta

Erlenmeyers de 250mL

Funil

Pipetas volumétricas de 1, 5, 10, 15, 25 e 50mL

Cloreto de polialumínio (PAC)

Provetas de 100mL

Solução de ortotolidina

Solução indicadora de fenolftaleína

Solução indicadora de metilorange

Solução Tampão de calibração de pHmetro (pH 4,00 e 7,00)

Sulfato de Alumínio

### 4.2 EQUIPAMENTOS

Aparelho Jar-test

Medidor pH portátil PG 1400

Fotômetro Medidor de Cor verdadeira ou Cor aparente

Turbidímetro 2100 P Hach

#### 4.3 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA PARA OS TESTES DE COAGULAÇÃO.

Os testes foram feitos com amostras da água do Rio das Cinzas (cidade de Andirá/PR), de onde a água bruta é recalçada através de tubulações subterrâneas até a ETA. Foram feitas coletas durante o período do mês de agosto a setembro fim de que se obtivesse uma variabilidade de amostras para os testes de coagulação e análise dos resultados da coagulação com o PAC em comparação ao  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ .

#### 4.4. DETERMINAÇÃO JAR TEST

Os testes foram realizados usando um Jar test com seis jarros de 2000 mL e hélices de 7,6cm. Devido a dois dos jarros do equipamento apresentarem problemas na agitação das amostras, os testes foram realizados utilizando-se 4 dos 6 jarros disponíveis.

Em cada jarro foi adicionado em escala crescente de volume (mL) doses do coagulante. A amostra foi inicialmente submetida à uma vigorosa mistura (100 rpm/ 1min), seguida de uma mistura lenta (40rpm/ 10min). O sistema foi então deixado em descanso por 10 minutos para a floculação.

De cada jarro foram retirados 250 ml de sobrenadante que foram submetidos à medições de turbidez, pH, alcalinidade e cor. Os resultados são confrontados com aqueles obtidos para a água bruta.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DE TURBIDEZ

Para as leituras de turbidez das amostras de água o aparelho foi devidamente calibrado, conforme instruções do fabricante, em um momento sempre próximo ao das análises.

As amostras foram homogeneizadas e submetidas a leitura no turbidímetro, utilizando-se a cubeta de vidro do equipamento como recipiente da mesma. O resultado é obtido diretamente, em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DE pH

Para as leituras de pH das amostras de água o aparelho foi devidamente calibrado, conforme instruções do fabricante, em um momento sempre próximo ao das análises, com tampões de pH 7 e pH 4.

A cada leitura o eletrodo do aparelho foi lavado abundantemente com água destilada a fim de se evitar interferências nas leituras e contaminação cruzada.

As amostras foram homogeneizadas e submetidas a leitura no aparelho. O resultado é obtido diretamente, em unidades de pH.

#### 4.7 DETERMINAÇÃO DE ALCALINIDADE

Um volume de 100mL de amostra, adicionado de 3 gotas de indicador alaranjado de metila, foi titulada com  $H_2SO_4$  0,02N até o ponto de viragem.

A alcalinidade total ou alcalinidade ao alaranjado de metila é calculada através da multiplicação do volume de ácido utilizado na titulação, com a sua concentração e um

fator de 50000. Posteriormente dividiu-se o valor obtido pelo volume de amostra utilizado na análise (fórmula 1).

O resultado é expresso em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

#### 4.8 DETERMINAÇÃO DE COR

Para as leituras de cor as amostras foram homogeneizadas e submetidas a leitura no fotômetro de cor (real ou aparente).

O resultado é obtido diretamente, em Unidades Hansen (uH).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido o aumento da turbidez da água dos mananciais que são recalçadas para as estações de tratamento de água e à preocupação das empresas de gerar um resíduo mais clarificado para os mananciais, a fim de minimizar danos ambientais, foi feito experimentos com dois coagulantes com o objetivo de mostrar a maior eficiência de coagulação do PAC em relação ao sulfato de alumínio.

Os testes foram feitos pela determinação de Jar Test da água bruta com turbidez de 9,70 NTU a 1200,0 NTU em dias aleatórios entre os meses de agosto a outubro de 2011.

No decorrer do Jar Test, foi visualizada a capacidade de floculação dos coagulantes. Posteriormente foram coletadas amostras de água que foram submetidas a análises físico-químicas de turbidez, alcalinidade, pH e cor. São coletados os dados analíticos do melhor jarro de cada coagulante e feito a comparação, a escolha do melhor jarro do Jar Test indica melhor coagulação e decantação. Os dados são transferidos para uma planilha conforme o modelo (Tabela 2).

DATA:    /    /    . ENSAIO DE JAR TEST _____					
Jarro		1	2	3	4
Quant. Solução (ml)					
Água Bruta	Turbidez				
	pH				
	Cor				
	Alcalinidade				

**Tabela 2: Boletim Jar Test**

Tabela 2: (continuação)

Água Coagulada e Decantada	Turbidez				
	pH				
	Cor				
	Alcalinidade				
Melhor decantação e remoção de turbidez					
Jarro Escolhido		( )	( )	( )	( )

Tabela 2: Boletim Jar Test

A tabela 3 apresenta os resultados dos Jar-Test realizados no período do experimento.

<b>Data: 08/08/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	9,7	7,77	36,0	30
Teste com PAC	2,0	1,31	7,14	34,0	2
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	25,0	2,04	7,07	33,0	10
<b>Data: 15/08/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	12,7	7,68	37,0	38
Teste com PAC	2,0	1,70	7,26	37,0	3
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	25,0	1,99	6,99	36,0	5
<b>Data: 22/08/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	18,6	7,55	36,5	60
Teste com PAC	2,0	2,02	7,34	36,0	3
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	27,0	2,78	6,90	36,0	3

Tabela 3: (continuação)

<b>Data: 29/08/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	23,2	7,65	37,0	70
Teste com PAC	3,0	1,31	7,33	37,0	3
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	30,0	2,55	6,98	34,0	5
<b>Data: 05/09/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	77,0	7,12	40,0	220
Teste com PAC	8,0	1,33	7,01	40,0	3
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	38,0	3,03	6,77	40,0	8
<b>Data: 11/09/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	21,3	7,65	37,0	65
Teste com PAC	2,0	1,49	7,12	36,0	3
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	35	1,73	6,91	33,0	5
<b>Data: 12/09/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	10,3	7,67	44,0	30
Teste com PAC	2,5	1,02	7,21	34,0	3
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	25	2,31	6,95	30,0	8
<b>Data: 19/09/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	25,8	7,47	37,0	80
Teste com PAC	3,5	0,87	7,32	36,0	2
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	26	2,46	6,92	35,0	5

Tabela 3: (continuação)

<b>Data: 24/09/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	55,0	7,49	41,0	160
Teste com PAC	6,5	1,20	7,10	35,0	3
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	31	2,98	6,95	33,0	8
<b>Data: 25/09/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	32	7,75	41,0	100
Teste com PAC	3,5	0,88	7,33	35,0	2
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	29	1,85	7,02	33,0	5
<b>Data: 14/10/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	155	7,06	300	43
Teste com PAC	8	1,52	6,99	3	40
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	46	3,82	6,37	10	40
<b>Data: 14/10/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	493	6,74	330	39
Teste com PAC	11,5	1,60	6,49	3	38
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	55	3,61	6,29	10	38
<b>Data: 15/10/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	699	6,70	390	40
Teste com PAC	12	1,87	6,56	3	39
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	64	3,01	5,70	5	38

Tabela 3: (continuação)

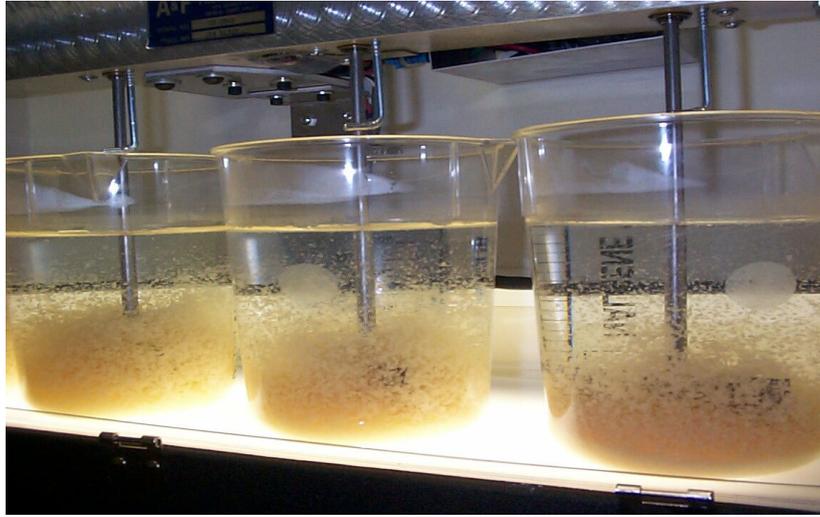
<b>Data: 15/10/2011</b>					
Amostra	Dose de coagulante (mL.2000mL <sup>-1</sup> )	Turbidez (N.T.U.)	pH	Cor	Alcalinidade
Água bruta	0,0	1200	6,46	420	38
Teste com PAC	13,5	1,86	6,39	3	37
Teste com Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O	74	2,86	5,67	5	37

No período inicial do estudo, que compreenderam os meses de agosto e setembro, observou-se pouca variação na qualidade da água bruta que chegou ao sistema de tratamento, quando as amostras tiveram valores iniciais de turbidez entre 9,7 e 77NTU. Estes resultados No mês de outubro, devido a eventos de clima chuvosos, os valores de turbidez da água subiram significativamente, entre 155 e 1200NTU. Os valores de cor da água bruta acompanharam as variações de turbidez do período do estudo.

O pH da água esteve na faixa entre 7,8 e 6,5.

As medidas de alcalinidade da água tiveram pouca correlação com o pH da água e a turbidez. Deve-se levar em consideração que a alcalinidade da água está relacionada a sua capacidade de tamponamento. Assim, nos períodos em que se observou maiores valores de alcalinidade (semana inicial e finais de setembro) este tamponamento foi menos efetivo, o que se visualiza com os valores de alcalinidade que estiveram entre 100 e 220ppm de CaCO<sub>3</sub>. De forma geral, a alcalinidade da água bruta teve uma média no período de estudo de 66,8NTU.

A figura 8 representa um dos testes de coagulação realizados, utilizando-se o PAC.



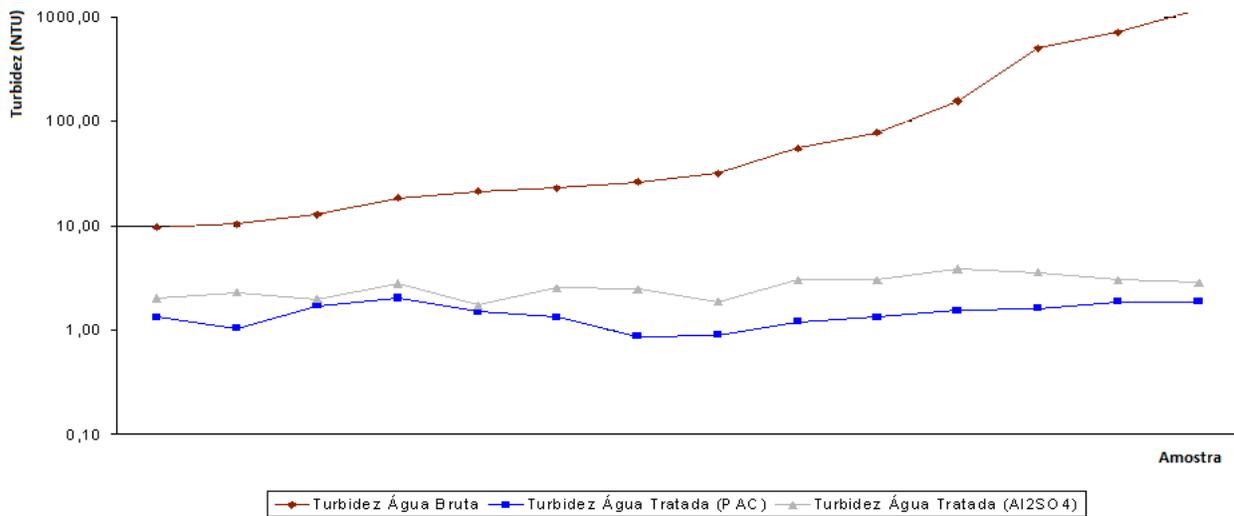
**Figura 8: Jar test realizado com PAC.**

### 5.1 VARIAÇÕES OBSERVADAS DO PARÂMETRO TURBIDEZ DA ÁGUA NOS TRATAMENTOS COM PAC e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ NO PERÍODO DO ESTUDO

A figura 9 representa o confronto das medições de turbidez das amostras de água bruta e água tratada com o PAC e o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Cada ponto do gráfico demonstra o valor medido de turbidez das amostras coletadas a cada semana, no período de estudo. Os valores foram colocados no eixo das ordenadas (y), em ordem crescente de turbidez. O gráfico foi plotado com os valores de turbidez em escala logarítmica, para que as variações, principalmente as do mês de outubro, pudessem ser melhor representadas.

Observa-se que os tratamentos com os dois clarificantes foram eficientes no processo de clarificação da água bruta já que nos testes iniciais houve uma diminuição na ordem de 10 vezes na turbidez. Nos testes finais, que se referem a amostras de água bruta com teores maiores de turbidez, verificam-se diminuições da ordem de 1000 vezes após o tratamento com os coagulantes.

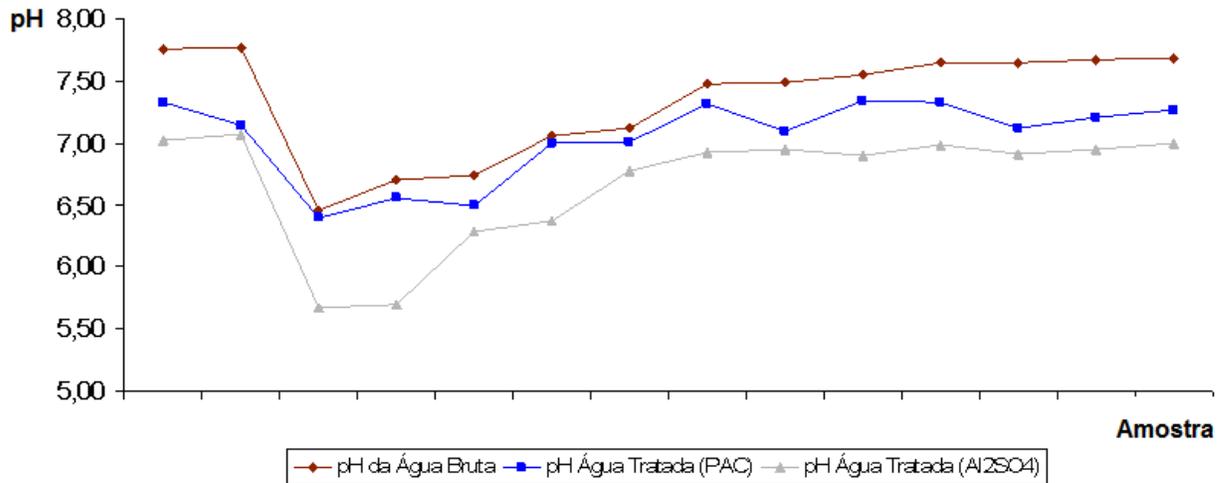
Através da interpretação do gráfico, vemos que o PAC foi mais eficiente na diminuição da turbidez das amostras, tanto para aquelas que apresentaram valores menores como maiores de turbidez da água bruta, entretanto, se observarmos os dados da tabela 3, as dosagens de PAC utilizadas estiveram entre 2 a 5 vezes menores que as dosagens de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , mostrando assim o ganho econômico do tratamento. Desta maneira, podemos afirmar que o PAC é mais eficiente na clarificação da água bruta utilizada no estudo.



**Figura 9: Variações observadas do parâmetro turbidez da água nos tratamentos com PAC e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  no período do estudo**

## 5.2 VARIAÇÕES OBSERVADAS DO PARÂMETRO pH DA ÁGUA NOS TRATAMENTOS COM PAC e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ NO PERÍODO DO ESTUDO

A figura 10 representa o confronto das medições de pH das amostras de água bruta e água tratada com o PAC e o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Cada ponto do gráfico demonstra o valor medido de pH das amostras coletadas a cada semana, no período de estudo. Os valores foram colocados no eixo das ordenadas (y), em ordem crescente de pH.



**Figura 10: Variações observadas do parâmetro pH da água nos tratamentos com PAC e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  no período do estudo**

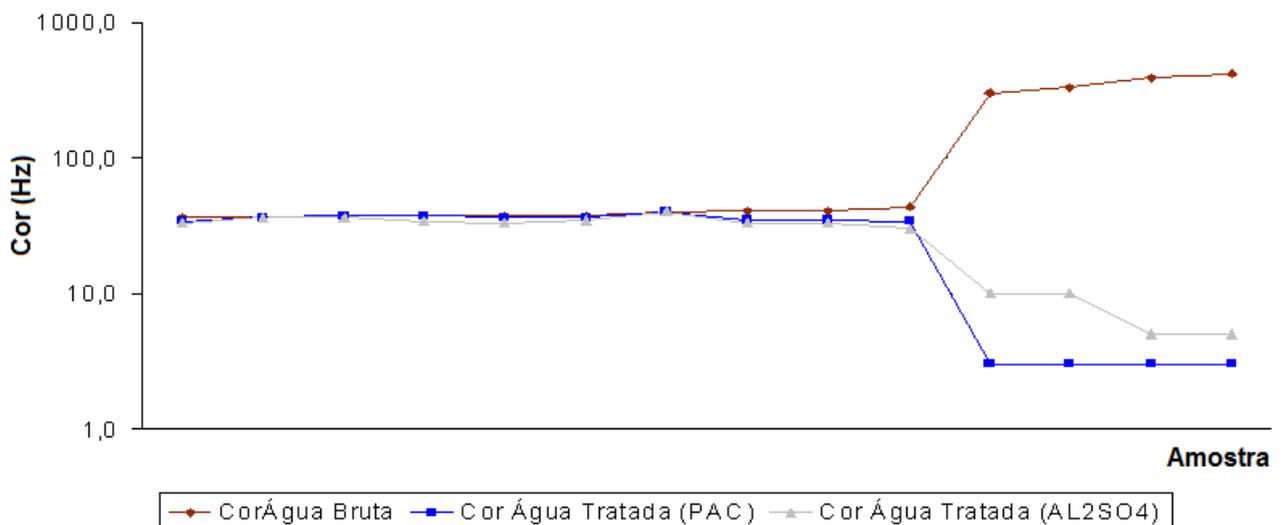
Observa-se que as amostras tratadas com sulfato de alumínio tiveram seu pH significativamente reduzido, o que é de se esperar já que o íon alumínio é um ácido conjugado forte e no seu processo de dissolução abstrai elétrons da água, reduzindo o seu pH. Este comportamento não foi verificado para o PAC, onde as amostras mantiveram seu pH em uma faixa menos ácida do que as tratadas com o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . É importante observar que a redução drástica do pH da água determinará sua correção nas etapas posteriores do tratamento, sendo assim o PAC é mais interessante para as pois a diminuição menos significativa do pH demandará pouca ou nenhuma correção nas próximas etapas do tratamento de água.

### 5.3 VARIAÇÕES OBSERVADAS DO PARÂMETRO COR DA ÁGUA NOS TRATAMENTOS COM PAC e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ NO PERÍODO DO ESTUDO

A figura 11 representa o confronto das medições de cor das amostras de água bruta e água tratada com o PAC e o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Cada ponto do gráfico demonstra o valor

medido de cor das amostras coletadas a cada semana, no período de estudo. Os valores foram colocados no eixo das ordenadas (y), em ordem crescente de cor. O gráfico foi plotado com os valores de cor em escala logarítmica, para que as variações, principalmente as do mês de outubro, pudessem ser melhor representadas.

Verifica-se que nas primeiras semanas do estudo (meses de agosto e setembro) quase não houve variações de cor em relação à água bruta. Para o período final do estudo, mês de outubro, onde os valores de turbidez da água chegaram a 220NTU, a redução da cor da água foi muito significativa, em ambos os tratamentos, sendo maior para as águas tratadas com o PAC – 100 vezes menor.



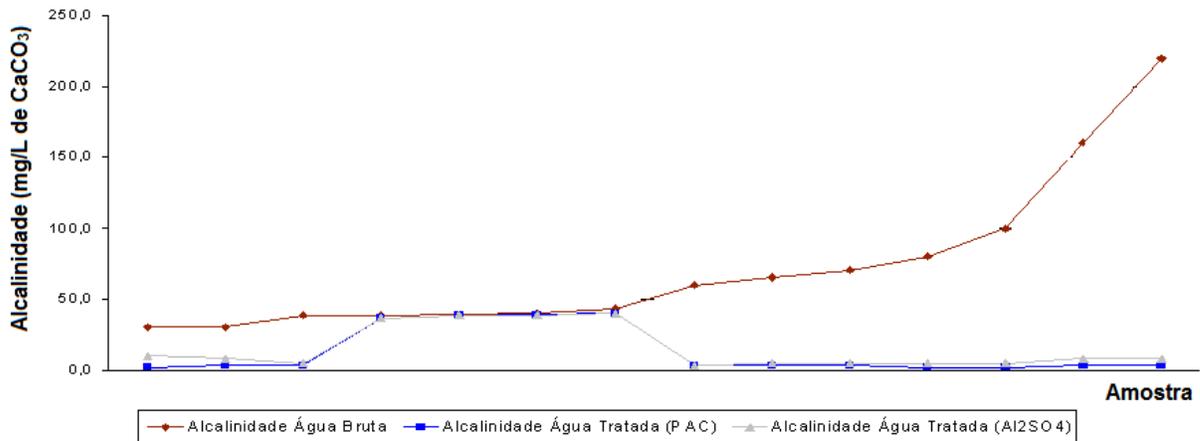
**Figura 11: Variações observadas do parâmetro Cor da água nos tratamentos com PAC e  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  no período do estudo.**

#### 5.4 VARIAÇÕES OBSERVADAS DO PARÂMETRO ALCALINIDADE DA ÁGUA NOS TRATAMENTOS COM PAC e $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ NO PERÍODO DO ESTUDO

A figura 12 representa o confronto das medições de alcalinidade das amostras de água bruta e água tratada com o PAC e o  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ . Os valores foram colocados no eixo das ordenadas (y), em ordem crescente de alcalinidade. Cada ponto do gráfico

demonstra o valor medido de alcalinidade das amostras coletadas a cada semana, no período de estudo.

As águas brutas mais alcalinas tiveram seu valor significativamente reduzido, frente aos dois tratamentos, mostrando que tanto o PAC quanto o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  podem ser interessantes quando este é o resultado desejado.



**Figura 12: Variações observadas do parâmetro alcalinidade da água nos tratamentos com PAC e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  no período do estudo**

## 6. CONCLUSÃO

O cloreto de polialumínio mostrou-se muito eficiente em relação ao sulfato de alumínio o mais utilizado nesse mercado, obtendo-se uma boa coagulação, um pH próximo de 7,0 “neutro”, resultando em uma melhor clarificação, ou seja, menor turbidez.

As análises físico-químicas, de uma forma geral, apresentaram resultados favorecendo o uso do coagulante cloreto de polialumínio.

As variações de pH em relação à água bruta foram significativas para o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , pois este coagulante interfere muito neste parâmetro, o que demandará correções nas etapas posteriores do tratamento. O mesmo não foi observado para os tratamentos feitos com o PAC.

A diminuição da cor aparente da água é significativa quando se observam altos valores deste parâmetro para a água bruta, sendo que o PAC é mais eficiente nestas condições.

A diminuição da alcalinidade da água foi mais significativa quando se utilizou o PAC, entretanto, este comportamento é mais bem observado quando as águas brutas chegam ao sistema com valores mais altos deste parâmetro, da ordem de 100 a 150mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

O fator mais interessante observado neste trabalho, foi que o PAC foi dosado nos tratamentos das amostras, sempre em valores bem menores que o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Como colocado, isto refletirá nos custos do sistema de tratamento e nas menores taxas de lodo gerado.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. **Indicador universal pH**. Disponível em: <[http://ana-alves-cfq-8d.blogspot.com/2010\\_12\\_01\\_archive.html](http://ana-alves-cfq-8d.blogspot.com/2010_12_01_archive.html)>. Acesso em 11 de Setembro de 2011.

CIMIL. **Boletim técnico sulfato de alumínio ferroso sólido**. Disponível em: <http://www.cimil.com.br/v3/boletins/safs.pdf>. Acesso em: 25, jul. 2011.

COLOMBO. **Prática de floculação “jar test” em águas**. Disponível em: <[http://pessoal.utfpr.edu.br/colombo/arquivos/Floculacao\\_jar\\_test.pdf](http://pessoal.utfpr.edu.br/colombo/arquivos/Floculacao_jar_test.pdf)>. Acesso em 25, jul. 2011

CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D. **Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC, 2009**. Disponível em: <<http://www.dec.uem.br/simpgeu>>. Acesso: 15 de Março de 2011.

FORTALEZA, Z. **O que é a turbidez no contexto do tratamento da água, 2011**. Disponível em: <<http://fortalezadesentupidora.com/blog/turbidez-agua-tratamento-desentupidora/>>. Acesso em: 26, jul.,2011.

GUIMARÃES, E.; BELLEZA, S.; MOREIRA, A.; SILVA, K.V. **Tratamento de água pode trazer vantagens econômicas, 2009**. Disponível em: <<http://www.preparadordepolimeros.com.br>>. Acesso: 10, ago., 2010.

H2O. Edição 08 – **Coagulante e Floculantes, 2010**. Disponível em: <[http://www.h2oagua.com.br/edicao08\\_coagulantes.asp](http://www.h2oagua.com.br/edicao08_coagulantes.asp)>. Acesso em: 20, de nov., 2010.

HIDROALL. Industria Quimica - **Produtos para tratamento de piscinas e água para consumo humano, 2009**. Disponível em: <[www.hidroall.com/br/download/library/policloreto\\_de\\_aluminio\\_em\\_po](http://www.hidroall.com/br/download/library/policloreto_de_aluminio_em_po)>. Acesso em: 20, nov. 2010.

HIDROALL. **Cloreto de polialumínio**. 2001. Disponível em: <<http://www.hidroall.com.br>>. Acesso em: 4, ago., 2010.

IPAQ - **Instituto de Pesquisas em Aquicultura e Aquariologia**. 2010. Disponível em: <<http://www.ipaq.org.br/vb/showthread.php?90841-Turbidez-da-%E1gua!>>. Acesso em: 26, jul., 2011.

LABISTORE, **Equipamento para laboratório LTDA**. Disponível em: <[http://www.labstore.com.br/produtos\\_det.php?id\\_produto](http://www.labstore.com.br/produtos_det.php?id_produto)>. Acessado dia 26, de julho de 2011.

MOJAVE TECNOLOGIA. **Boletim técnico de produto 06**. Disponível: <<http://mojave.com.br/boletins/Boletim06-ECOFLOCWT.pdf>>. Acesso em 25, jul., 2011.

ROSSIN, A.C. **Técnica de abastecimento e tratamento de água teste de jarros (JAR TEST)**. Disponível em: <[http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca\\_Detalhe.aspx?codigo=388](http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=388)>. Acesso em 25, jul., 2011.

SCHUURMAN, F.; FERREIRA, W. **Água coagulante mocidicados e mais eficazes reforçam o poder da clarificação**. Finlandesa Kemira, São Paulo-SP, 2009.

SILVA, A.A. **Tratamento pode trazer vantagens econômicas**. 2010. Disponível em: <[http://www.tratamentodeagua.com.br/R10/Biblioteca\\_Detalhe.aspx?codigo=1068-](http://www.tratamentodeagua.com.br/R10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=1068-)>. Acesso em: 04 Ago. 2010.

SPLABOR – **Equipamento de laboratório**. 2011. Disponível em: <<http://www.splabor.com.br/blog/tag/equipamento-de-laboratorio/>>. Acesso em: 26, jul., 2011.

TRATAMENTO DE ÁGUA. **Determinação da alcalinidade**, 2008. Disponível em: <[http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca\\_Detalhe.aspx?codigo=394](http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=394)>. Acesso em: 25, jul., 2011.

ZAMPIERON, S. L. M; VIEIRA, J. L. A. **Poluição da Água**. 2009. Disponível em: <[http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m\\_a\\_txt5.html](http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt5.html)>. Acesso: 10, out., 2010.