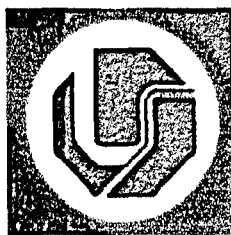


SISBI/UFU



1000220584



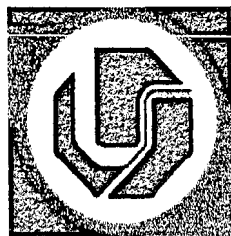
**Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Química
Programa de Pós-Graduação em Química**

**Avaliação e estudo sobre o uso de
alguns polímeros como auxiliares de
coagulação, floculação e flotação nas
Estações de Tratamento de Água e
Esgoto do Departamento Municipal de
Água e Esgoto de Uberlândia-MG (DMAE)**

Alan Soares Landim

Uberlândia

2005



**Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Química
Programa de Pós-Graduação em Química**

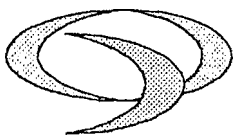
MOV
54
L257a
TES/MEM

**Avaliação e estudo sobre o uso de
alguns polímeros como auxiliares de
coagulação, floculação e flotação nas
Estações de Tratamento de Água e
Esgoto do Departamento Municipal de
Água e Esgoto de Uberlândia-MG (DMAE)**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação do
Instituto de Química da
Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito para
a obtenção do título de Mestre
em Química (área de
concentração: Físico-Química).

Aluno: Alan Soares Landim
Orientador: Prof. Dr. Guimes Rodrigues Filho

**Uberlândia
2005**



ALUNO(A): ALAN SOARES LANDIM

NÚMERO DE MATRÍCULA: 5022401-5

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: QUÍMICA INORGÂNICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA: NÍVEL MESTRADO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:

“Avaliação e estudo sobre o uso de alguns polímeros como auxiliares de coagulação, floculação e flotação nas Estações de Tratamento de água e Esgoto do Departamento Municipal de água e Esgoto de Uberlândia – MG (DMAE)”

ORIENTADOR: PROF. DR. GUIMES RODRIGUES FILHO

A Dissertação foi **APROVADA** em apresentação pública realizada na sala 145 do Bloco G do Campus Santa Mônica no dia 18 de março de 2005 às 16:00 horas, tendo como Banca Examinadora:

NOME:

ASSINATURA:

Prof. Dr. Guimes Rodrigues Filho

(Universidade Federal de Uberlândia)

Profa. Dra. Vicelma Luiz Cardoso

(Universidade Federal de Uberlândia)

Profa. Dra. Silvia de Castro Martins

(Uniminas – Uberlândia – MG)

Uberlândia, 18 de março de 2005.

**A minha esposa Francielle, por sempre
estar comigo nas maiores
tempestades
amo você...**

**Aos queridos irmãos, Alex
e Henrique Landim...**

**Aos meus pais: Pedro e Maria, por
me darem a vida e os meios para
que eu pudesse
estudar...**

**Quero dividir com todos amigos e companheiros de
serviço pela ajuda e incentivo!**

**Meus amigos, se para o mundo
meus passos são curtos,
inventarei um veículo.**

AGRADECIMENTOS

- A Deus criador de todos mistérios da vida.
- A meus pais e irmãos, por estarem comigo e sempre..... perdoarem minhas falhas.
- A você Francielle Lopes de Oliveira Soares.
- Ao Prof. Dr. Guimes Rodrigues Filho, pela orientação, dedicação e paciência.
- A Dra. Rosana Maria do Nascimento Assunção, pela co-orientação, dedicação e amizade.
- A equipe do DMAE – Uberlândia.
- Ao Instituto de Química da UFU, pela oportunidade concedida.
- A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.
- A CAPES pela bolsa de auxílio ao Mestrado.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de tabelas.....	viii
Lista de símbolos.....	ix
Trabalho oriundo desta Dissertação.....	x
Resumo.....	xi
Abstract.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Tratamentos Físicos e Químicos para estações de tratamento de água.....	6
2.1.1. Descrição Geral.....	6
2.1.2. Etapas do Processo.....	11
2.1.2.1. Clarificação.....	11
I. Neutralização.....	11
II. Pré-Cloração.....	13
III. Flocculação.....	14
IV. Coagulação.....	15
A. Colóides.....	17
B. Potencial Zeta.....	22
C. Parâmetros de Controle do Processo de coagulação e floculação.....	28
D. Concentração e natureza dos polieletrólitos.....	29
E. Fornecimento de Energia.....	31
F. Formação de compostos flocculentos.....	31
G. Polieletrólitos.....	33

	v
2.1.2.2. Cloração.....	37
2.1.2.3. Fluoretação.....	38
2.2. Poliestireno.....	39
2.2.1. Sulfonação do PS.....	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1. Equipamentos.....	42
3.2. Reagentes.....	43
3.3. Procedimentos.....	44
3.3.1. Sulfonação do Poliestireno	44
3.3.2. Ensaio de pH ideal para água.....	45
3.3.3. Ensaio de coagulação e floculação para água.....	45
3.3.4. Ensaio de flotação para o esgoto.....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1. Caracterização dos materiais por espectroscopia na região do infravermelho (FTIR).....	48
4.2. Polímeros auxiliares de coagulação/floculação para o tratamento da água.....	49
4.3. Polímeros auxiliares de flotação para o tratamento do esgoto.....	56
5. CONCLUSÕES.....	
6. PROPOSTA PARATRABALHOS FUTUROS.....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composição percentual dos materiais que compõe os resíduos sólidos urbanos [5].....	3
Figura 2. Representação do processo convencional de tratamento de água [2].....	10
Figura 3. Partículas carregadas se repelem mutuamente [19].....	12
Figura 4. Partículas sem cargas estão livres para chocar e aglomerar-se [19].....	13
Figura 5. Representação do processo de tratamento de água com a pré-cloração no canal de água bruta	14
Figura 6. Esquema do processo de coagulação/floculação.....	16
Figura 7. Comportamento do Oleato de sódio disperso em água [18].....	18
Figura 8. Comportamento do Oleato de sódio disperso em água e na presença de Benzeno [18].....	19
Figura 9. Representação de uma partícula carregada negativamente e as respectivas camadas envolvidas [19].....	23
Figura 10. Esquema da distribuição de cargas na vizinhança de uma partícula carregada e os respectivos potenciais associados à dupla camada elétrica na interface sólido-líquido [20].....	26
Figura 11. Energia potencial (V) de interação partícula-partícula em função da distância (d) de separação entre duas partículas coloidais [20].....	27
Figura 12. Influência do Potencial Zeta no processo de coagulação, usando Sulfato de Alumínio como coagulante [19].....	29
Figura 13. Influência da carga de eletrólitos sobre o Potencial Zeta [19]..	30
Figura 14. Influência da agitação na qualidade dos flocos [18].....	31
Figura 15. Influência do pH e concentração do soluto sobre o Potencial	

Zeta [21].....	33
Figura 16. Classificação dos Polímeros em função de suas características de dissociação iônica.....	35
Figura 17. Representação do processo de floculação utilizando polieletrólitos.....	37
Figura 18. Um dos Aparelhos de Jar – Test utilizado para realização dos testes de coagulação e floculação.....	43
Figura 19. FTIR do Poliestireno Sulfonado e sem sulfonar de copos plásticos pós-consumo.....	49
Figura 20. Turbidez final da água decantada em função da dosagem (mg.L^{-1}) de PSS e AQUALEX 360®.....	51
Figura 21. Turbidez final da água decantada em função da dosagem (mg.L^{-1}) de PSS e AQUALEX 360®.....	52
Figura 22. Turbidez final da água decantada em função da dosagem (mg.L^{-1}) de polieletrólito.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Produtos químicos usualmente empregados no tratamento de água [2].....	7
Tabela 2. Polieletrólitos usualmente utilizados [2].....	36
Tabela 3. Comparativo entre o Copo Descartável de PS e o de Papel quanto aos aspectos Ambientais [24].....	40
Tabela 4. Resultados experimentais médios dos testes realizados na ETA-SUC e ETA-BJ para o PSS (1) AQUALEX 360 (2) e um branco (3).	50
Tabela 5 – Resultados experimentais médios dos testes realizados na ETE-Aclimação para o PSS (1), AQUALEX 360 (2), W-360 (3) e um branco (4).....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

- DMAE = Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia
- PS = Poliestireno
- PSS = Poliestireno Sulfonado
- PZ = Potencial Zeta
- IEP = Ponto Isoelétrico
- ETA –BJ = Estação de Tratamento de Água do Bom Jardim
- ETA –SUC = Estação de Tratamento de Sucupira
- ETE-ACLIMAÇÃO = Estação de Tratamento de Esgoto de Aclimação
- FTIR = espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier

TRABALHO ORIUNDO DESTA DISSERTAÇÃO

- 1) Landim, A.S.; Maldonado, A.C.D.; Filho, G.R., Assunção, R.M.N., **Estudo das Propriedades do Poliestireno Sulfonado (P.S.S.), como agente auxiliar alternativo de coagulação e floculação nas águas do Departamento Municipal de Água e esgoto de Uberlândia (DMAE)**, in Anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros, Belo Horizonte-MG, 1 (2003) 97-98.

RESUMO

Essa Dissertação aborda o uso do poliestireno sulfonado (PSS) reciclado a partir de copos plásticos comerciais, como agente auxiliar alternativo de coagulação, floculação e flotação para o tratamento físico-químico do processo de clarificação de água e de esgoto. Os estudos foram realizados para a água e esgoto do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE). Medidas simples e rápidas de turbidez e pH foram de grande utilidade no estudo da eficiência do emprego dos polímeros nos testes de Jarros. O resultado do PSS foi comparado ao do polímero aniônico de poliacrilamida (AQUALEX 360[®]) o qual é usado no tratamento de água e ao do polímero catiônico de poliacrilamida (W 360[®]) usado no tratamento de esgoto, ambos empregados pelo DMAE. Outros polímeros comerciais também foram usados para comparação: A3015[®] (poliacrilamida, caráter aniônico); A3040[®] (poliacrilamida, caráter aniônico); N3100[®] (poliacrilamida, caráter não iônico). Os resultados demonstraram que os polieletrólitos PSS e AQUALEX 360[®] de caráter aniônico mais acentuado não atuam bem em água de turbidez inferior a 5 NTU e não raras vezes pioram o processo de clareamento da água, no entanto, em se tratando de águas um pouco mais turvas (turbidez acima de 30 NTU) os polímeros são eficientes, inclusive para o processo de flotação do esgoto. Os testes comparativos entre os polímeros utilizados para o tratamento de água demonstraram que os polímeros de caráter aniônico menos acentuado (A3015[®], N3100[®]) são mais eficientes em água de turbidez em torno de 13,0 NTU do que os de caráter aniônico mais forte (PSS, AQUALEX 360[®], A3040[®]). A reciclagem química dos detritos de poliestireno é muito importante, pois além de auxiliar no tratamento de água e esgoto, contribui para a preservação do meio ambiente.

ABSTRACT

This Dissertation board the use of the recycled polystyrene sulfonate (PSS) from commercial plastic cups as alternative coagulation, flocculation and flotation auxiliary agent in the physical-chemical of the process of clarify of waters and drainage. Studies were conducted for water and drainage from the Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE). Simple and fast measures of turbidity and pH was of great utility to study the effectiveness of use polymers in the Jar-Test. The result of the PSS was compared at the anionic polyacrylamide polymer (AQUALEX 360[®]) used in the water treatment and at the cationic polyacrylamide polymer (W 360[®]) used in the drainage treatment, which are used at the DMAE. Others polymers were also used for comparasion A3015[®] (polyacrilamide,anionic); A3040[®] (polyacrilamide ,anionic); N3100[®] (polyacrilamide, no anionic). The results demonstrated that the polyelectrolytes PSS and AQUALEX 360[®] strong anionics aren't good in water with turbydity lower 5 NTU and some times prejudice the process of clarify of the water, however, in waters a little turbydity (greater 30 NTU) the polymers are effectives, include the process of flotation of the drainage. The comparatives tests between polymers utilizedes by the treatment of the water demonstrate that the younger (A3015[®], N3100[®]) are more efficientes in the water with turbydity about 13,0 NTU that strong anionycs polymers (PSS, AQUALEX 360[®], A3040[®]). Thus chemical recycling of waste polystyrene is important because the product PSS could be utilized for water and drainage treatment and environmental preservation.

1 - INTRODUÇÃO

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 (460-354 a.C.) já afirmava: "A influência da água sobre a saúde é muito grande".

O homem tem necessidade de água com qualidade adequada e em quantidade suficiente, não só para a proteção de sua saúde, como também para seu desenvolvimento [1].

À medida que a densidade populacional cresce as águas de superfície devem ser tratadas cada vez com maior cuidado. O abastecimento com água subterrânea é freqüentemente inadequado para grandes demandas, pois, podem conter: cor, ferro, sulfeto de hidrogênio e dureza em quantidades não aceitáveis, principalmente em poços próximos de terrenos ricos em calcário, ou em poços contaminados. As indústrias estão sempre necessitando de uma quantidade maior de água, bem como, de uma melhor qualidade nas fontes de suprimento. Os rios, naturais fontes de abastecimento, recebem uma quantidade sempre crescente de esgotos e despejos industriais, exigindo assim, maior atenção para a solução dos problemas advindos da inadequação dada aos tratamentos de esgotos e de sua relação com a poluição dos cursos de água.

O objetivo de um sistema normal de abastecimento de água para uma comunidade é fornecer-lhe em quantidade e qualidade convenientes, de modo que toda a população se beneficie, recebendo-a com o mínimo dispêndio possível [2].

A crescente demanda por água faz com que as estações de tratamento venham a trabalhar com vazões muitas vezes acima daquelas consideradas máximas nos critérios de projeto. A quantidade, neste caso, faz com que a qualidade seja prejudicada, tornando os decantadores simples tanques de passagem e os filtros uma unidade que deve ser lavada em espaços de tempo cada vez menores. O tempo de floculação é cada vez mais reduzido e assim sendo, os flocos podem não crescer o

suficiente para a decantação, agravando ainda mais a situação. A solução que surge de imediato para este caso seria a construção de outras unidades de floco/decantação, aumentando a capacidade da estação de tratamento, porém, nem sempre isto é possível. Outro caminho a seguir seria a utilização de polímeros auxiliares de coagulação, que aumentando a eficiência do tratamento, fariam com que nas instalações existentes, pudesse ser tratado um maior volume de água [3].

Nas unidades de tratamento de água e de esgoto, o processo de coagulação é muito importante. Esse processo permite a remoção dos colóides presentes nas águas. Possibilita também a remoção de partículas finamente divididas e uma parte das substâncias solvatadas. O objetivo do uso de substâncias auxiliares no processo de coagulação é diminuir a dose de coagulante, acelerar a formação do floco e desse modo acelerar o processo de sedimentação. Entretanto, estudos para melhor desvendar o processo, ainda devem ser conduzidos.

Polieletrólitos e trocadores iônicos podem ser obtidos por síntese de substâncias novas ou a partir da reciclagem química de resíduos poliméricos. A síntese de trocadores iônicos e polieletrólitos é um problema tecnológico muito interessante. Todavia, como os polieletrólitos usados nos tratamentos de água não são reaproveitados, é importante obtê-los a partir de resíduos poliméricos, tais como o poliestireno [4].

Atualmente são geradas diariamente aproximadamente 125 mil toneladas de resíduos domiciliares no Brasil, sendo que só a cidade de São Paulo gera cerca de 15 mil toneladas/dia de resíduos sólidos, dos quais possivelmente mais de 700 toneladas são constituídas por embalagens plásticas descartáveis. Estas embalagens são fabricadas principalmente com poli(tereftalato de etileno) - PET; polietileno - PE; poli(cloreto de vinila) - PVC; polipropileno - PP e o poliestireno - PS.

A contribuição do plástico (**Figura 1**) é pequena se comparada aos demais resíduos como material orgânico, papel e papelão, vidro, metais e entulho de construção civil, entretanto o aspecto negativo é o seu volume aparente ou o chamado "lixo visual" e o tempo que este tipo de resíduo necessita para se decompor [5]. A **Figura 1** apresenta a composição percentual dos materiais encontrados nos lixões urbanos

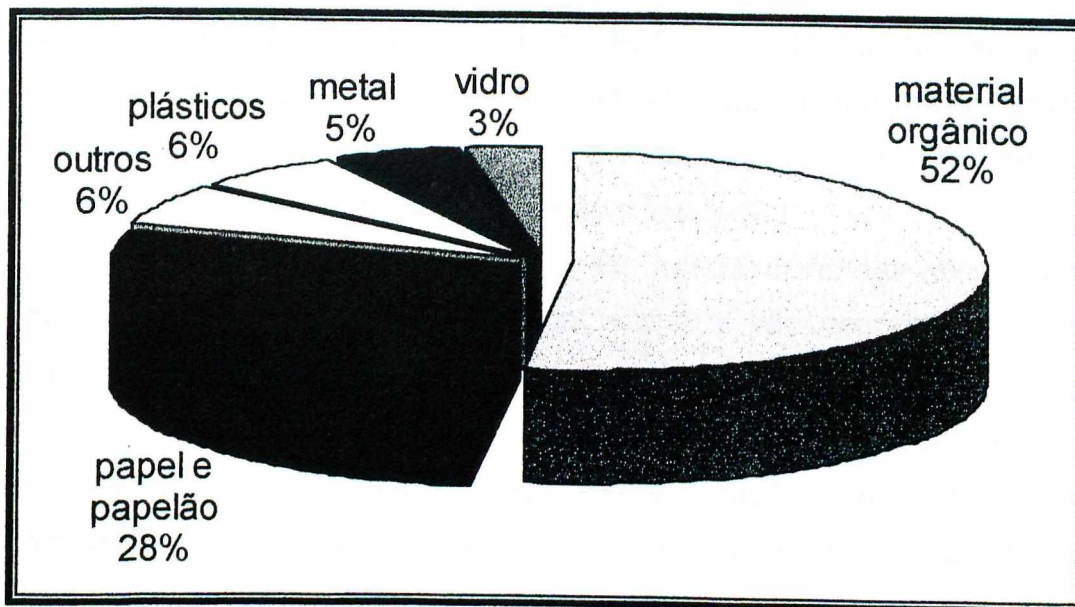


Figura 1 - Composição percentual dos materiais que compõe os resíduos sólidos urbanos [5].

O poliestireno ocupa um lugar muito importante dentre uma grande quantidade de produtos, com os quais as pessoas têm contacto na sua vida cotidiana. Uma ampla gama de artigos de uso diário é fabricada empregando-se o poliestireno, desde embalagens descartáveis (copos, talheres e bandejas), sapatos, artigos escolares, cosméticos, artigos de jogos e brinquedos [6]. O Brasil consumiu em 2003 cerca de 270 mil toneladas/ano de poliestireno [7].

Uma boa solução acerca da poluição ambiental causada por resíduos de polímeros plásticos tem sido sua reciclagem química ou física transformando-o em outros produtos úteis. O uso de resíduos do poliestireno modificado, para a produção de polieletrólitos, é uma razoável solução. A grande variedade de poluentes e a tecnologia universal de tratamento de água e esgoto sugerem a exploração de uma nova tecnologia para melhorar o tratamento de água causando um grande crescimento na demanda por polieletrólitos com parâmetros específicos. A modificação química de polímeros pode oferecer produtos com propriedades químicas e físicas tais que, podem ser usados como polieletrólitos.

Landim [8] (2002) em seu estágio supervisionado no Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE), realizou um trabalho

sobre o uso do Poliestireno Sulfonado (PSS) como forma alternativa de tratamento de água e esgoto. Os resultados indicaram uma boa eficiência do produto quando comparado a produtos comerciais usualmente utilizados como auxiliares de coagulação e floculação.

Vários pesquisadores têm procurado encontrar formas alternativas de reciclagem de polímeros, que normalmente são degradados muito lentamente no meio ambiente, dentre eles o poliestireno [7,9-11].

O poliestireno pode sofrer diversas reações químicas de substituição no anel benzênico, sendo a reação de sulfonação a que tem maior aplicação comercial. A reação de sulfonação pode ser homogênea ou heterogênea [12].

A literatura recente em termos de pesquisas com o poliestireno pode ser dividida da seguinte forma: i) estudos das reações químicas de sulfonação do poliestireno virgem comercial [13,14]; ii) estudos das reações de sulfonação do poliestireno reciclado visando distintas aplicações como, por exemplo: a) na produção de blendas para melhorar as propriedades mecânicas de membranas de acetato de celulose obtidas do bagaço de cana-de-açúcar para uso em nanoniftração [15]; b) na produção de aditivos para melhorar a trabalhabilidade bem como a resistência à compressão do concreto [16]; e na produção de polieletrólitos para serem utilizados como agentes auxiliares de coagulação no tratamento de águas com turbidez elevada [7,11]. Nesta última linha de pesquisa citada, trabalhos com águas de baixa turbidez, como é o caso das águas da estação de tratamento de Uberlândia-MG, cuja variação média anual, mesmo em época de chuvas, esta em torno de 5,0 NTU a 30 NTU, não têm sido abordados.

Recentemente Landim et al. [17] (2003) publicaram um artigo nos anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros sobre o uso do Poliestireno Sulfonado como agente auxiliar alternativo de coagulação e floculação usado como forma alternativa para o tratamento de água, realizado no Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia-MG (DMAE).

Essa dissertação reporta-se à verificação das propriedades de alguns polieletrólitos que são usualmente empregados em estações de

tratamento de água e esgoto como auxiliares de floculação/coagulação e flotação, dentre estes foi testada a utilização do Poliestireno sulfonado (PSS) sintetizado a partir de copos plásticos pós-consumo, como forma alternativa para tratamento de água e esgoto.

A maior parte da pesquisa foi realizada nas estações do Departamento de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE) onde realizou-se Testes de Jarros (Jar-Test) utilizando água bruta das estações de tratamento de água de Sucupira e do Bom Jardim e esgoto bruto da estação de tratamento de esgoto de Aclimação.

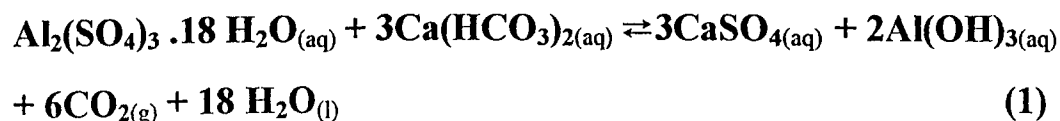
O presente trabalho se mostra duplamente importante, pois, além de contribuir para o maior rendimento do processo de tratamento de água e esgoto, também é importante para a minimização do enorme montante de resíduos plásticos de poliestireno, que são diariamente depositados no meio ambiente.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 -TRATAMENTOS FÍSICOS E QUÍMICOS PARA ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

2.1.1 – DESCRIÇÃO GERAL

Muitas das características inconvenientes das águas podem ser removidas pelo uso de produtos químicos, cuja ação se faz sentir de diversas maneiras. Alguns produtos são utilizados para reagirem entre si ou reagir com a água e com compostos presentes na água a ser tratada, formando um novo produto capaz de promover a remoção pretendida. O sulfato de alumínio é um reagente clássico usado para tratamento de água:



O hidróxido de alumínio, que é insolúvel na faixa de pH de 5 a 8, forma um floco gelatinoso que sedimenta lentamente, arrastando o material em suspensão. O floco de hidróxido de alumínio tem sua solubilidade mais baixa para um pH de aproximadamente 7.

Além do hidróxido de alumínio, outros produtos são utilizados para reagir com os compostos que conferem à água características inconvenientes, formando novos produtos que, ou são insolúveis e separados ou eliminam os problemas de contaminação. Alguns produtos químicos agem por suas propriedades químicas ou físicas, alterando o pH da água, evitando fenômenos de corrosão, impondo sua capacidade de absorção ou destruindo microorganismos. Na **Tabela 1** estão listados alguns produtos químicos que são usualmente utilizados para o tratamento químico da água.

Tabela 1 – Produtos químicos usualmente empregados no tratamento de água [2].

PRODUTO QUÍMICO	FUNÇÃO
<i>Sulfato de Alumínio</i>	<p align="center">Coagulantes</p> <p>Cátions polivalentes (Al^{3+}, Fe^{3+}, Fe^{2+}, etc) neutralizam as cargas elétricas negativas das partículas suspensas. (Exemplo: $Al(OH)_3$), ao adsorverem os particulados, geram uma floculação parcial.)</p>
<i>Policloreto de Alumínio</i>	
<i>Cloreto Férrico</i>	
<i>Sulfato Ferroso</i>	
<i>Sulfato Ferroso Clorado</i>	
<i>Sulfato Férrico</i>	
<i>Aluminato de Sódio</i>	
<i>Bentonita</i>	<p align="center">Auxiliares de coagulação</p>
<i>Carbonato de Cálcio</i>	
<i>Silicato de Sódio</i>	
<i>Gás carbônico</i>	
<i>Polieletrólitos</i>	
<i>Hidróxido de Cálcio</i>	<p align="center">Usualmente utilizado como agentes controladores de pH.</p>
<i>Carbonato de Cálcio</i>	
<i>Carbonato de Sódio</i>	
<i>Hidróxido de sódio</i>	
<i>Gás Carbônico</i>	
<i>Ácido Clorídrico</i>	
<i>Ácido Sulfúrico</i>	
<i>Cal Hidratada</i>	<p align="center">Controle de Corrosão</p>
<i>Carbonato de Sódio</i>	
<i>Hidróxido de sódio</i>	
<i>Polifosfatos de Sódio</i>	
<i>Cal Hidratada</i>	<p align="center">Usados para o abrandamento (remoção da dureza da água devido aos íons Ca^{2+} e Mg^{2+})</p>
<i>Carbonato de Sódio</i>	
<i>Cloreto de sódio</i>	
<i>Gás Carbônico</i>	
<i>Resinas Abrandadoras</i>	

<i>Carvão Ativado</i>	Controle e remoção de sabor e odor
<i>Bióxido de Cloro</i>	
<i>Cloro</i>	
<i>Ozono</i>	
<i>Permanganato de Potássio</i>	
<i>Bentonita</i>	
<i>Cloro e compostos clorados</i>	Para desinfecção
<i>Amônia Anidra</i>	
<i>Hidróxido de Amônia</i>	
<i>Sulfato de Amônia</i>	
<i>Ozono</i>	
<i>Carvão Ativado</i>	Remoção do excesso de Cloro
<i>Sulfito de Sódio</i>	
<i>Bissulfito de Sódio</i>	
<i>Bióxido de Enxofre</i>	
<i>Fluosilicato de Sódio</i>	Para a fluoretação
<i>Fluoreto de Sódio</i>	
<i>Ácido Fluossilícico</i>	
<i>Fluoreto de Cálcio</i>	

O tratamento químico pode ser feito visando, entre outras, as seguintes alterações:

- Remoção de partículas em suspensão obtida mediante a ação de produtos capazes de coagular colóides e de formar partículas floculentas dotadas de grande capacidade de adsorção. A ação desses produtos pode ser incentivada por meio de auxiliares de coagulação.

- Ajuste de pH da água, mediante o uso de álcalis ou de ácidos, a fim de que certas reações se realizem.
- Redução da corrosividade das águas.
- Remoção de excesso de sais de cálcio e de magnésio, responsáveis pela dureza das águas, por meio da adição de produtos capazes de com eles se combinarem, formando compostos insolúveis.
- Redução do teor de compostos presentes na água, pela ação oxidante de certos produtos.
- Controle de problemas de sabor e de odor por meio de produtos que, ou se combinam quimicamente com os agentes causadores do problema ou exercendo uma ação de adsorção, removendo-os da água.
- Remoção ou controle de desenvolvimento de microorganismos alcançados mediante o uso de desinfetantes.
- Adição ou remoção de flúor, a fim de que seu teor na água fique dentro dos limites em que sua ação é benéfica [18]

A **Figura 2** representa um processo convencional de tratamento de água para o consumo humano.

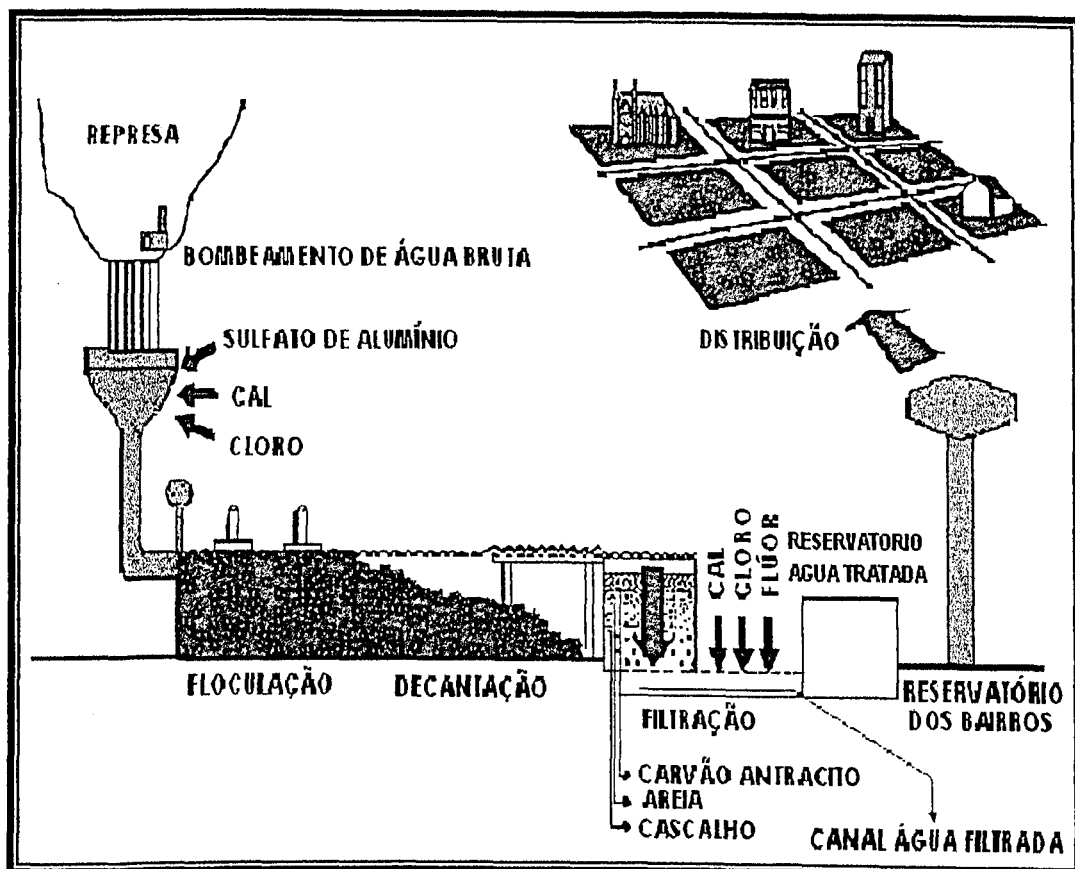


Figura 2 - Representação do processo convencional de tratamento de água [2].

Após a captação da água bruta, que pode ser feita diretamente no manancial ou represada, a mesma é enviada à estação de tratamento onde são adicionados os coagulantes e auxiliares de coagulação. Em seguida a água passa para os flocladores aonde irão se formar os flocos insolúveis que aglutinarão a maior parte das impurezas para se precipitarem nos decantadores. A água decantada passa pelos filtros e após, num tanque chamado de "Poço de contato", recebe uma dose de desinfetante, flúor e onde se corrige o pH. No fim desse processo a água está pronta para ser distribuída.

2.1.2 – ETAPAS DO PROCESSO

2.1.2.1 – CLARIFICAÇÃO

O processo de clarificação é de suma importância no tratamento das águas subterrâneas e de superfície, quando bem conduzido evita dificuldades nos tratamentos posteriores, pois possibilita a eliminação de partículas em suspensão de origem orgânica, inorgânica, colóides e pigmentos (responsáveis pela coloração intensa), algas e organismos vegetais, substâncias geradoras de odor e sabor de origem química e biológica, bactérias e organismos patogênicos, precipitados químicos existentes em efluentes ou aqueles obtidos por reações químicas. O objetivo da clarificação da água consiste em promover a redução da sua turbidez, cor e carga orgânica, através da eliminação de sólidos suspensos por meio de processos físico-químicos [3] que serão abordados a seguir:

I - NEUTRALIZAÇÃO

Os sólidos suspensos são partículas insolúveis na água, com velocidades de sedimentação tão reduzidas que inviabilizam sua decantação natural ao longo do tempo. Aliado a isso, a maioria destas partículas apresentam sua superfície carregada eletricamente, proveniente da adsorção de íons (principalmente hidroxilas) presentes na água. A presença de cargas elétricas aumenta a repulsão entre as partículas, dificultando a aglomeração e formação de agregados maiores e de mais fácil sedimentação. O fenômeno de neutralização consiste exatamente na eliminação dessas cargas eletrostáticas superficiais ou, em outras palavras, na diminuição do chamado “potencial zeta” [18] seção 2.1.2.1 parte B.

Na **Figura 3** é apresentada a repulsão eletrostática que acontece entre partículas carregadas eletricamente, o que dificulta sua aglomeração e posterior decantação, ou seja, atrapalha todo o processo de clarificação da água.

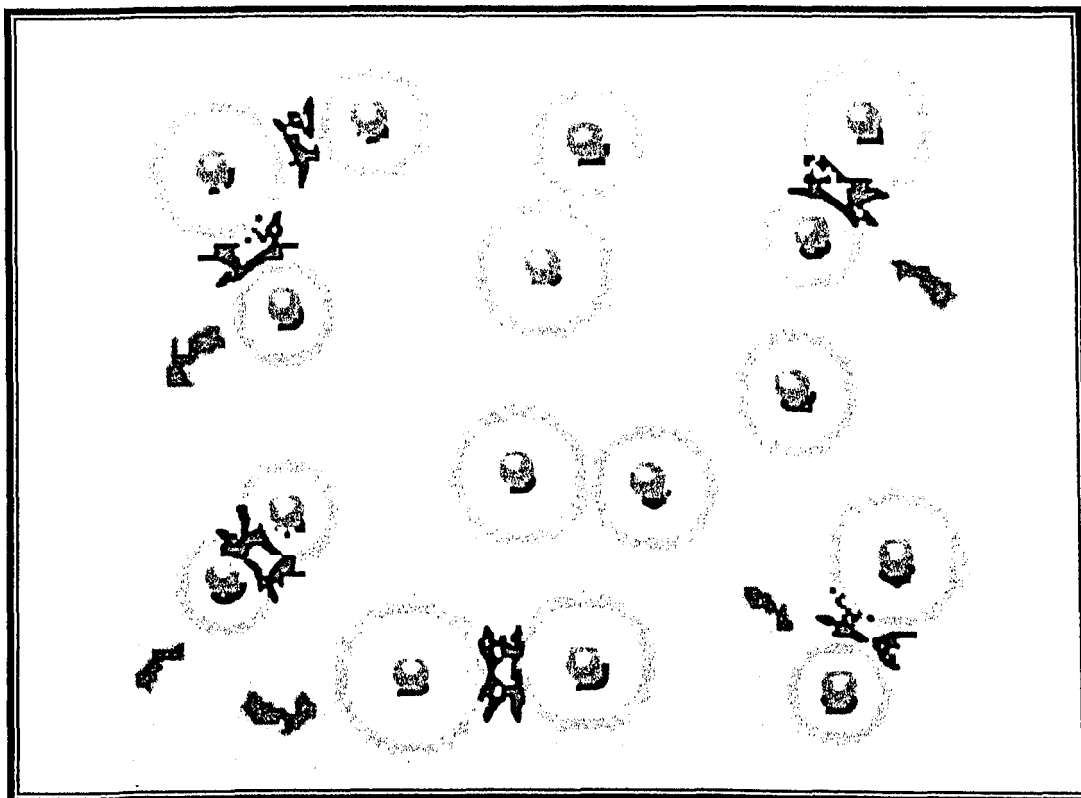


Figura 3 - Partículas carregadas se repelem mutuamente [19].

O processo de Neutralização consiste na eliminação das cargas eletrostáticas com a adição de reagentes de cargas opostas tais como o sulfato de alumínio, cloreto férrico e outros que neutralizam as cargas das partículas aquosas, conforme mostra a **Figura 4**.

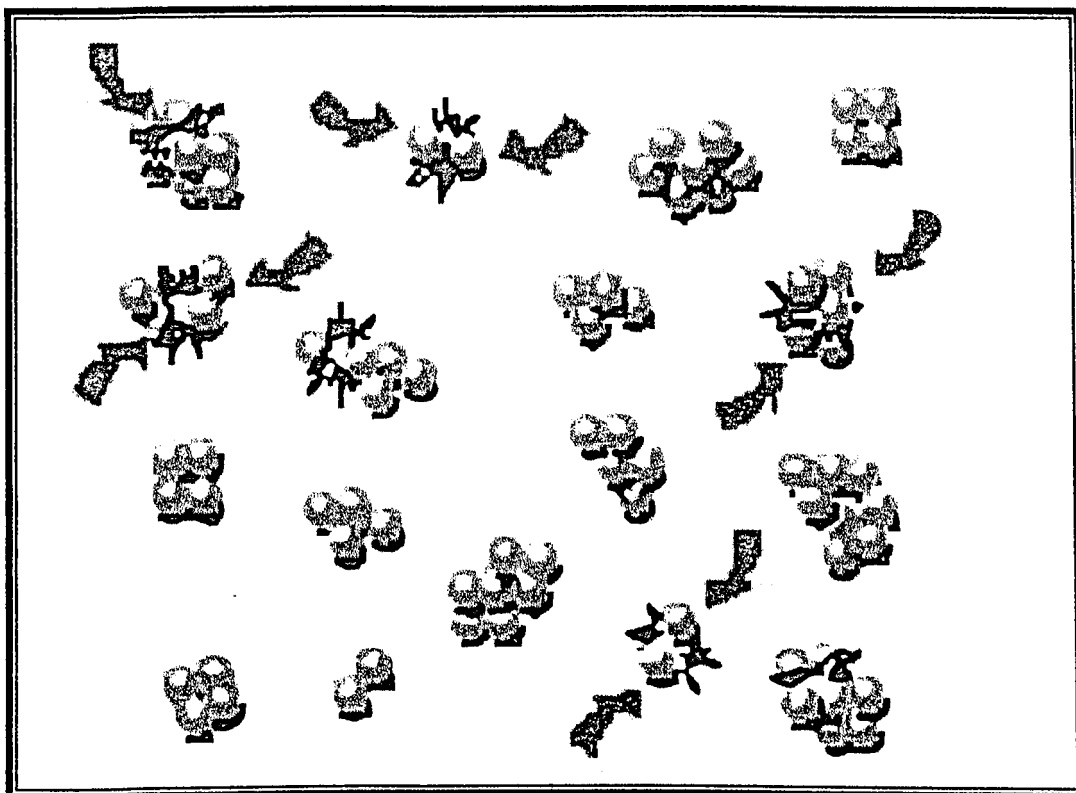


Figura 4 - Partículas sem cargas estão livres para chocar e aglomerar-se [19].

II - PRÉ-CLORAÇÃO

A pré-cloração é utilizada para oxidar a matéria orgânica presente na água. É realizada adicionando-se oxidantes clorados na água bruta antes do processo de floculação. É fundamental que se tenha um tempo mínimo de 15 minutos de contato, a partir do momento em que a água recebeu o cloro, até o início do processo de floculação propriamente dita. A pré-cloração (Figura 5) ajuda a destruir a formação de microorganismos os quais inibem a formação de flocos [3].

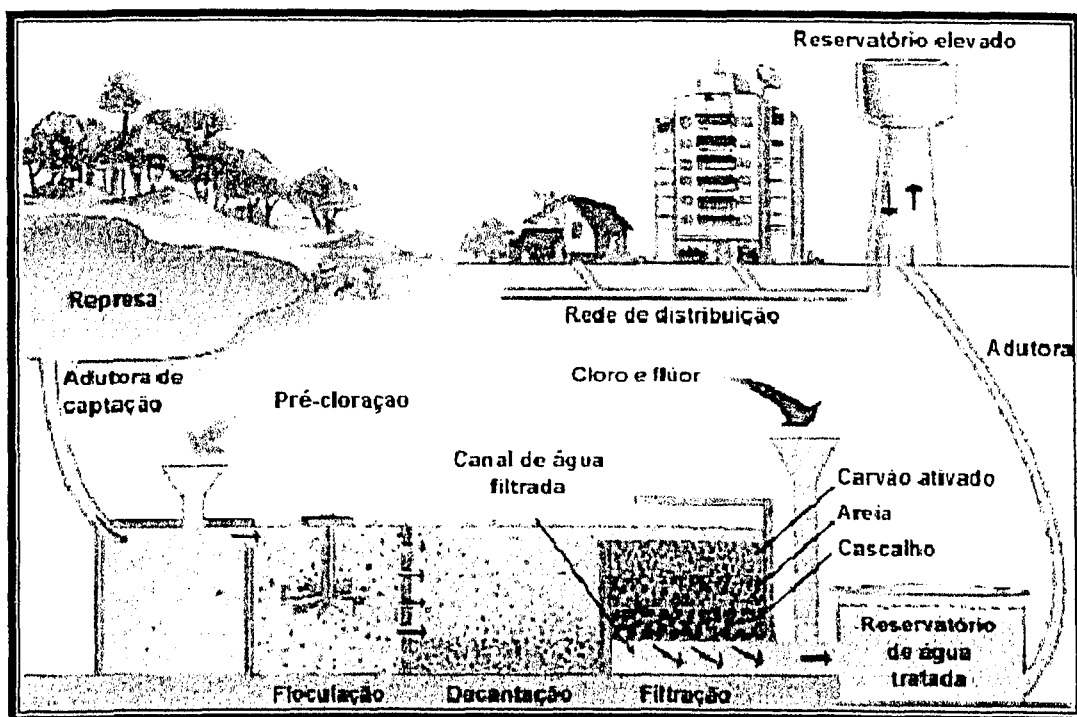


Figura 5 – Representação do processo de tratamento de água com a pré-cloração no canal de água bruta.

III – FLOCULAÇÃO

Apesar da etapa de floculação ocorrer após a etapa de coagulação é necessário a abordagem desse processo primeiro para o melhor entendimento dos demais processos.

Floculação é o processo pelo qual partículas em estado de equilíbrio, eletrostaticamente instável no seio de uma massa líquida são forçadas a se movimentar, a fim de que sejam atraídas entre si formando flocos, que, com a continuidade da agitação, tendem a aderir uns aos outros, tornando-se mais pesados. O objetivo da etapa de floculação em um processo de tratamento é promover o aumento do tamanho das partículas através das colisões entre uma e outra. Desta forma a agitação é um dos fatores críticos, sendo necessária uma agitação adequada para promover a colisão das partículas de forma a gerar flocos maiores. Normalmente esta agitação é menor do que aquela requerida no processo de coagulação. Caso a agitação durante a floculação seja muito intensa,

pode ocorrer a ruptura dos flocos formados e, conseqüentemente, será obtido um baixo rendimento.

Nos processos de floculações tradicionais em estações de tratamento de água, o pH da água é ajustado com hidróxido de cálcio (cal), quando necessário e após, é adicionado uma solução de sulfato de alumínio. Em solução alcalina, o sulfato de alumínio reage com íons hidroxila, resultando em polieletrólitos de alumínio e hidroxila (polications) com até 13 átomos de alumínio. Esses polieletrólitos de alumínio, pela interação eletrostática, atuam sobre as partículas de argila carregadas negativamente e pelas ligações de hidrogênio dos grupos OH^- , formando uma rede com microestrutura porosa (flóculos) que, após a decantação do precipitado, facilita a passagem da água no processo de filtração com filtro de cascalho / areia / antracito (carvão mineral) [20].

IV - COAGULAÇÃO

O mecanismo da coagulação tem sido muito discutido, mas o mesmo não está, até hoje, explicado de maneira definitiva. A maioria dos autores prefere tocar ligeiramente neste assunto, outros até dizem que é mais arte do que ciência. Estudos mais recentes demonstram que as reações que ocorrem são complexas, interessando não somente a união direta dos íons coagulantes com as impurezas, mas também à formação de óxidos hidratados complexos. Além disso, cada um dos íons presente na água exercerá seu próprio efeito dependendo de sua concentração, da natureza e da quantidade de sua carga [1]. O processo de coagulação está intimamente relacionado ao fenômeno de neutralização, uma vez que consiste na aglutinação das partículas, para que as mesmas se tornem maiores formando núcleos que possam sedimentar rapidamente [3]. Coagulação e floculação constituem a parte mais delicada do tratamento de água para abastecimento. Qualquer falha nesse setor pode acarretar grandes prejuízos na qualidade e custo do produto distribuído à população. A **Figura 6** apresenta um esquema de coagulação/floculação usando-se polímeros auxiliares.

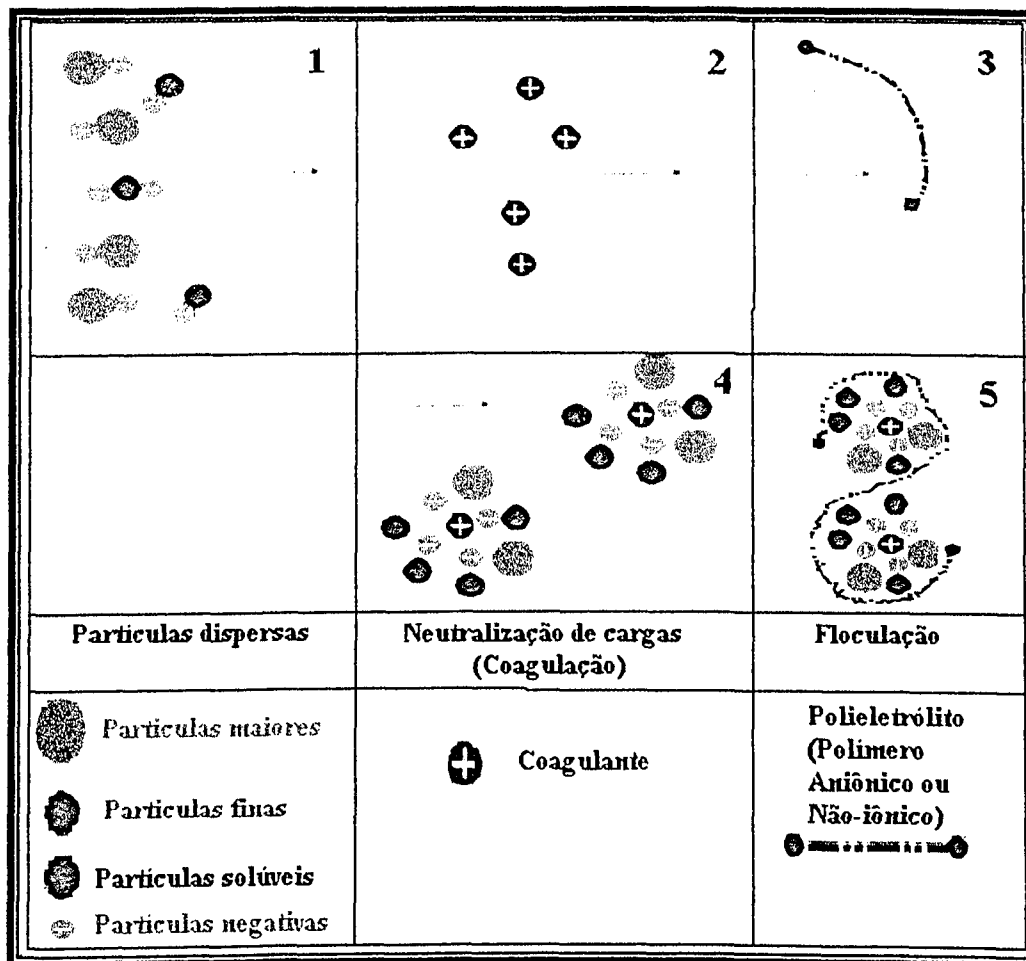


Figura 6 - Esquema do processo de coagulação/floculação.

As unidades de floculação, na maioria das instalações de tratamento de água em funcionamento, precedem aos decantadores, existindo atualmente, estudos em que a unidade de decantação é eliminada. Neste caso os flocos formados são removidos através de unidades de filtração (superfiltros) ou de unidades de flotação. Logicamente o emprego dessas técnicas está intimamente relacionado às características da água bruta afluyente à instalação.

Geralmente as partículas coloidais presentes na água apresentam os maiores problemas quando se visa à remoção da cor e turbidez. Isso se deve às propriedades eletrocinéticas dos colóides e também às características conseqüentes da dimensão reduzida das partículas.

A seguir serão descritas algumas propriedades dos colóides, destacando os polímeros que influenciam o processo de tratamento de água.

A - COLÓIDES

Colóides são misturas heterogêneas de pelo menos duas fases diferentes, com a matéria de uma das fases na forma finamente dividida (sólido, líquido ou gás), denominada fase dispersa, misturada com a fase contínua (sólido, líquido ou gás), denominada meio de dispersão. Graham, em 1861, introduziu os termos: colóide e diálise em um estudo sobre a difusão da matéria nos estados gasoso e líquido. O termo colóide, do grego, significa cola e na época referiu-se às soluções de goma arábica, substância sem estrutura definida e de natureza viscosa, hoje conhecida como macromolécula. A goma arábica (colóide) difundia mais lentamente que soluções de sais (cristalóide). Diálise é o processo de separação através do qual moléculas menores atravessam uma membrana semipermeável enquanto as moléculas maiores ou partículas coloidais são retidas pela mesma membrana [20].

Há vários tipos de dispersões coloidais, porém, a que apresenta maior interesse, quando se visa o tratamento de água, é aquela em que se tem uma fase sólida, dispersa em uma fase líquida (sol); mais particularmente ainda, quando se tem, como fase dispersante, a água. Assim tem-se:

➤ **Colóides hidrófilos:** são compostos de grupos polares, solúveis em água, que atraem para próximo de si moléculas do meio dispersante, formando uma película que exerce ação protetora, tornando o colóide bastante estável (difícil de coagular e flocular). Proteínas, sabões e detergentes pertencem a este grupo, quando dispersos em água.

Hess (1937), empregando difração de raios-X, descobriu que moléculas de oleato de sódio, quando dispersas em água, juntavam-se aos pares, formando grupamentos da maneira mostrada na **Figura 7**.

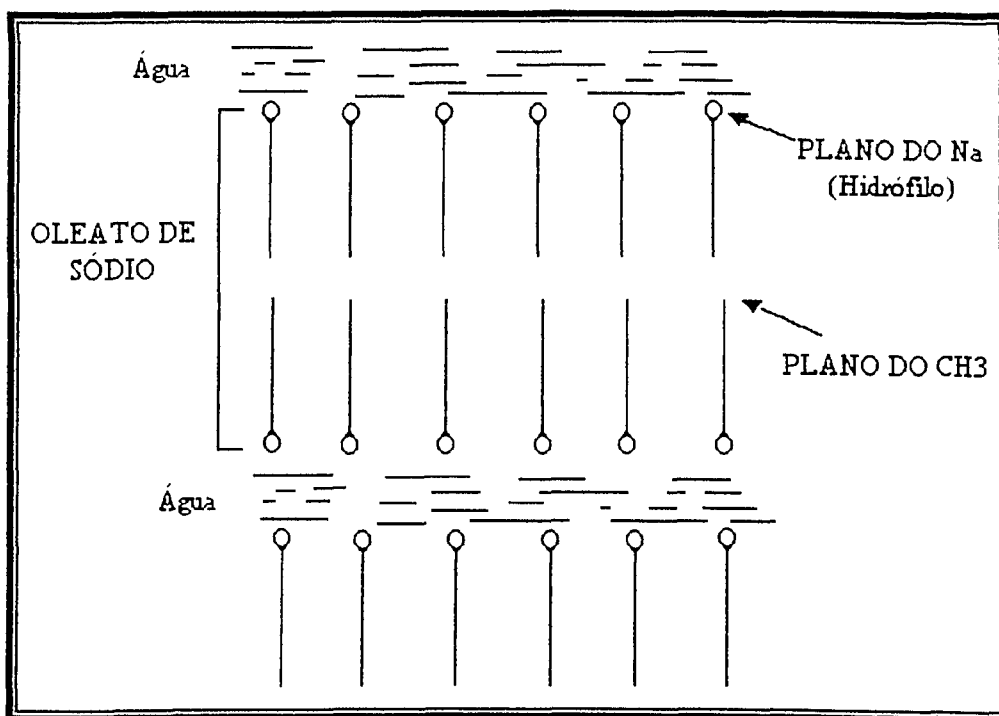


Figura 7 - Comportamento do Oleato de sódio disperso em água [18].

As moléculas de oleato de sódio apresentam um extremo hidrófilo e se agrupam ordenadamente.

A **Figura 8** mostra o comportamento do oleato de sódio quando da adição de pequena quantidade de benzeno, em água. É interessante notar que as moléculas de oleato de sódio se aderem ao redor de gotículas de benzeno tornando-se altamente hidrófilas.

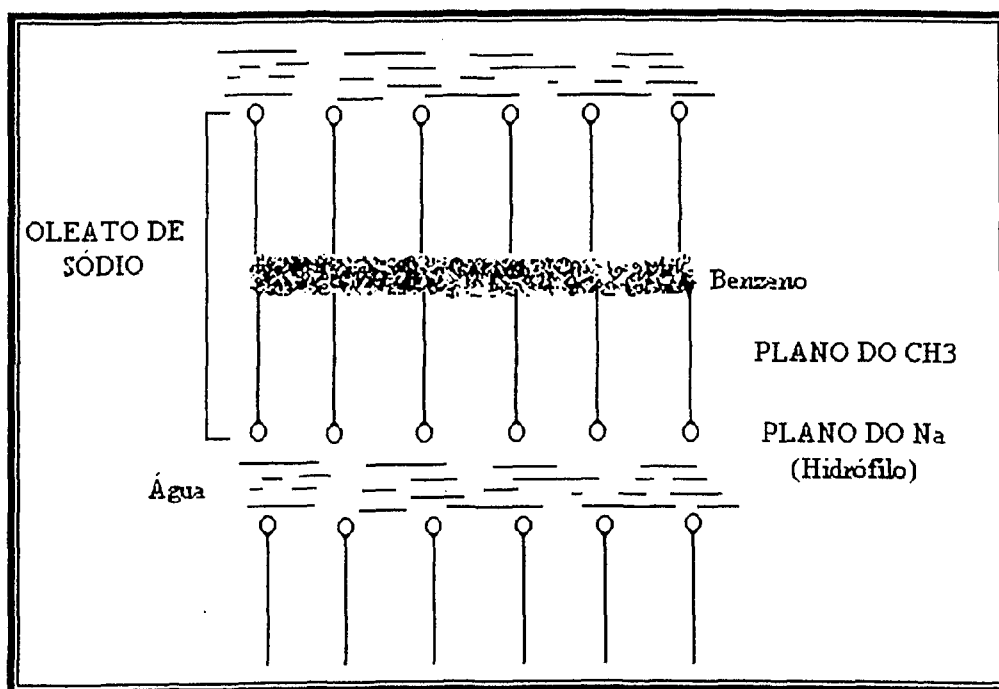
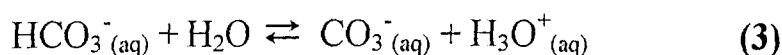
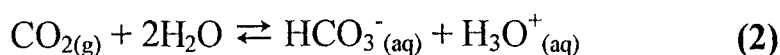


Figura 8 - Comportamento do Oleato de sódio disperso em água e na presença de Benzeno [18].

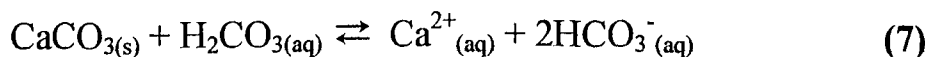
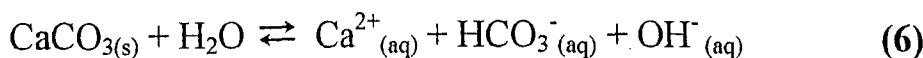
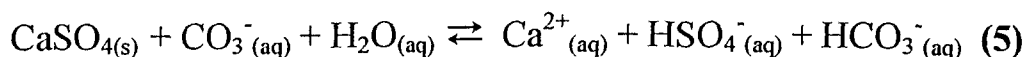
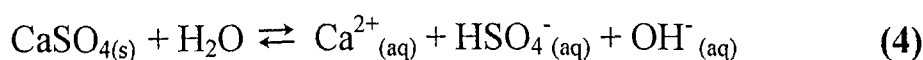
De maneira análoga ao que se verifica com o benzeno, esta solubilização ocorre com determinadas impurezas, presentes na água, evidenciando os problemas que sabões e detergentes acarretam, no tratamento de água, produzindo micelas hidrófilas bastante estáveis.

➤ Colóides hidrófobos: Neste caso, a fase dispersa é constituída de material insolúvel em água. Esses colóides geralmente ocorrem em maior quantidade que os hidrófilos nas águas destinadas a abastecimento. Suas propriedades eletrocinéticas são bastante importantes e relacionadas ao Potencial Zeta. São exemplos as argilas e óxidos metálicos.

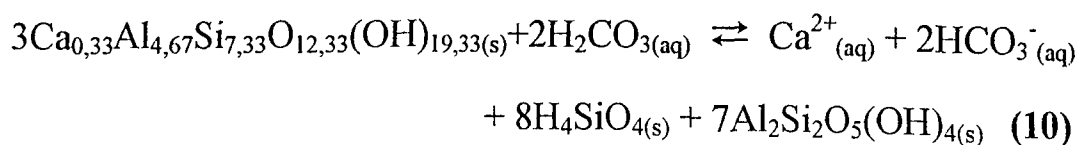
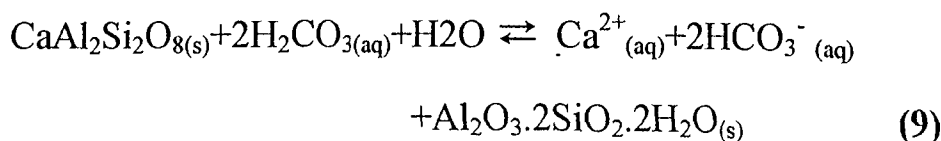
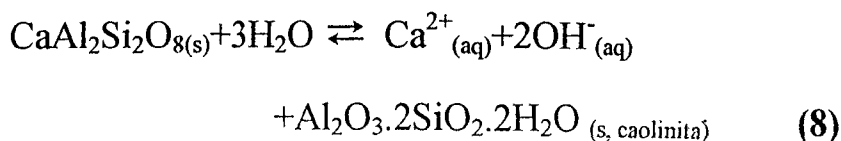
➤ Colóides naturais: Águas naturais e solo contêm muitos materiais dispersos de dimensões coloidais, desde argilominerais solubilizados das rochas até macromoléculas tais como ácidos húmicos provenientes da matéria orgânica de células vegetais e animais. Esses colóides naturais originam-se dos processos químicos e biológicos da natureza. Diversos equilíbrios químicos ocorrem nos solos e nas águas que lavam as rochas. O primeiro equilíbrio ocorre entre o gás carbônico do ar que se dissolve nas águas naturais:



O carbonato formado, em contato com sulfato de cálcio (usualmente conhecido como gesso - **Equação 4**) e carbonato de cálcio (conhecido como calcita - **Equação 5**), presentes no solo, pode originar íons que interferem na estabilidade coloidal, atuando na camada de cargas da superfície da partícula coloidal:



Equilíbrios semelhantes ocorrem entre água e feldspato ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) presente no granito, feldspato alcalino ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e montmorilonita [$\text{Ca}_{0,33}\text{Al}_{4,67}\text{Si}_{7,33}\text{O}_{12,33}(\text{OH})_{19,33}$]:



Esses equilíbrios são controlados nos rios pelo sistema tampão $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$, que por sua vez ajusta o pH (concentração de íon hidroxônio) das águas naturais. À medida que o rio (água doce) chega ao estuário, encontra água do oceano de concentração salina muito elevada (eletrólito) e as partículas coloidais de argilominerais e ácidos húmicos dispersas coagulam, formando maior quantidade de depósito sedimentado e contribuindo para a formação dos deltas [18].

➤ Características dos colóides:

a) Tamanho das partículas

As partículas coloidais que apresentam dimensões desde $10^{-3}\mu\text{m}$ até $1\mu\text{m}$, não podem ser observadas com o emprego do microscópio comum, exigindo o ultramicroscópio e o microscópio eletrônico.

b) Movimento Browniano

Movimento desordenado característico de partículas coloidais. Brown (1828), botânico inglês, estudando suspensões de grãos de pólem observou pela primeira vez esse fenômeno. Weiner sugeriu que tal fato era devido ao bombardeio das partículas dispersas, pelas moléculas da fase dispersante.

Esse bombardeio é constante, pois a agitação da fase dispersante sempre existe, provocando um movimento desordenado das partículas, denominado movimento Browniano. Sob ação desse bombardeamento, as partículas se mantêm em suspensão, não se sedimentando.

c) Efeito Tyndal

As partículas coloidais apresentam tamanho suficientemente grande (em relação ao comprimento de onda da luz) para dispersar os raios luminosos, ao passo que as do meio são pequenas demais para afetar sua propagação.

Essa propriedade pode ser empregada para se obter informações sobre o tamanho das partículas e também para a medida da turbidez da dispersão.

d) Adsorção Superficial

Quando um material é dividido finamente, multiplica-se sua superfície externa de contato com o meio em que se encontra. Esta

superfície pode apresentar tensões e/ou não saturação, produzindo o que se costuma chamar de adsorção superficial.

e) Osmose

Quando a dispersão está separada da fase dispersante por uma membrana semipermeável, o sistema só entra em equilíbrio quando for estabelecida uma diferença de pressão entre os dois meios, denominada pressão osmótica.

f) Diálise e ultrafiltração

Caso se queira remover substâncias dissolvidas, capazes de atravessar a membrana mediante reposição contínua do líquido puro, tem-se o fenômeno que se denomina diálise. Se o processo é acelerado com o auxílio de pressão, tem-se a ultrafiltração.

g) Propriedades eletrocinéticas

Essas propriedades são conseqüências do potencial eletrostático que as partículas coloidais adquirem por adsorção de cargas elétricas da fase dispersante. Esse potencial dá aos colóides a capacidade de se moverem, quando sob a ação de um campo elétrico.

O ponto de partida para o conhecimento de tal comportamento é o estudo do Potencial Zeta.

B - POTENCIAL ZETA

Se a uma dispersão coloidal, aplicarmos uma diferença de potencial, através de eletrodos mergulhados nesta dispersão, observa-se que as partículas se movem em direção ao eletrodo. Este fenômeno denomina-se: Eletroforese.

De maneira geral, todas as partículas coloidais, dispersas em águas, cujo pH se encontra entre 5 e 10, apresentam carga negativa devido à adsorção seletiva de íons eletronegativos. Como dificilmente uma água a ser tratada foge a essa gama de valores de pH, os estudos de coagulação e floculação desenvolveram-se baseados em modelos de partículas coloidais negativas.

Para explicar os comportamentos electrocinéticos dos colóides, Gouy e Stern propuseram a Teoria da Dupla Camada.

Tomando-se uma superfície plana carregada negativamente, em contato com um líquido que contenha íons positivos e negativos dissolvidos, haverá um acúmulo de cargas positivas, próximo às paredes (camada compacta ou camada de Stern) e quando se afasta da mesma, o número de íons de cargas opostas tende a se igualar (camada difusa).

No caso de partículas coloidais inseridas em meio aquoso que apresentem eletrólitos dissolvidos, nota-se a formação de uma camada estacionária de íons aderidos à superfície circundados por uma camada difusa que se desenvolve até haver o equilíbrio eletrostático das cargas [18]. A **Figura 9** apresenta uma partícula de carga negativa e as camadas envolvidas na geração do Potencial Zeta.

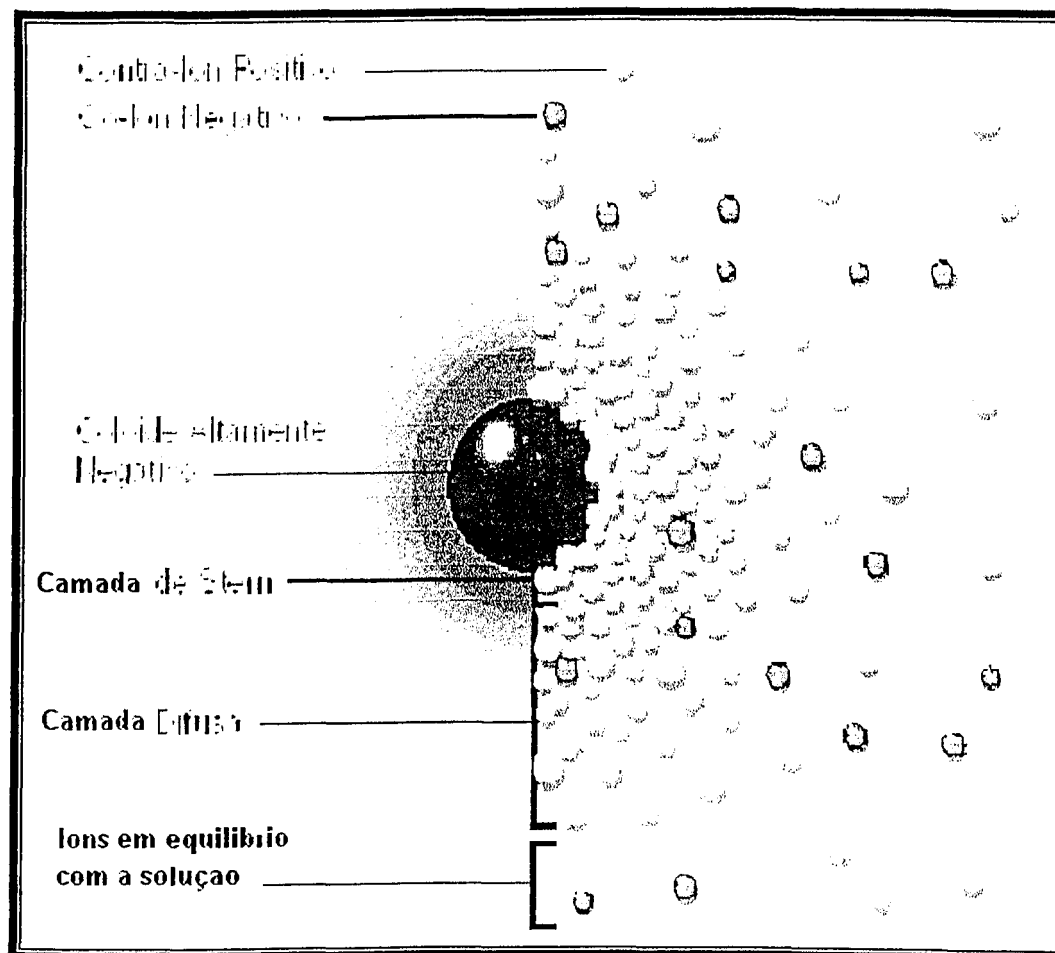


Figura 9 - Representação de uma partícula carregada negativamente e as respectivas camadas envolvidas [19].

Esse sistema de cargas, os contra íons da camada de Stern e a camada difusa juntos recebem o nome de dupla camada e sua espessura depende do tipo e da concentração dos íons e da solução [19].

Potencial Zeta é a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta que se desenvolve ao redor da partícula e o meio líquido em que ela está inserida.

Os íons de carga contrária são atraídos ao colóide, por forças eletrostáticas, enquanto a agitação térmica e o movimento browniano tendem a distribuí-los por toda massa líquida.

O Potencial Zeta é uma função da carga da camada difusa (por unidade de superfície de colóide) e da extensão da mesma.

Quando um líquido que contém partículas carregadas dispersas é submetido a um campo elétrico, o atrito entre as partículas e o líquido que contém a camada difusa reduz o movimento na direção dos eletrodos. Quanto maior for a extensão dessa camada, menor será o atrito. Portanto, a velocidade de uma partícula dispersa sob a ação de um campo elétrico aumenta, com o aumento da densidade e extensão da camada difusa.

Essa velocidade é proporcional ao potencial elétrico entre os eletrodos e ao Potencial Zeta.

Mais recentemente, Johnson e Alexander [18] definiram o Potencial Zeta como a energia requerida para se trazer uma carga unitária, desde o infinito até o plano de cisalhamento, sendo o plano de cisalhamento aquele que separa a partícula do resto da dispersão. É a secção da camada que se move juntamente com a partícula e está situada entre a superfície interna e externa da dupla camada.

As interações entre partículas coloidais governam as propriedades dos colóides e dependem da distância entre elas e da quantidade de partículas coloidais dispersas. As forças externas devidas ao campo da gravidade ou ao cisalhamento também influenciam a interação e as colisões entre partículas. Essas forças de interação entre as superfícies das partículas coloidais advêm da natureza eletromagnética das interações entre a matéria. Nas dispersões coloidais aquosas pode haver:

- 1) Interação repulsiva de duplas camadas de cargas,

- 2) Interação atrativa de Van der Waals,
- 3) Interação estérica repulsiva de cadeias de polímeros adsorvidos nas partículas,
- 4) Interação atrativa de polímeros,
- 5) Interação de moléculas de solvente (solvatação),
- 6) Interação hidrofóbica.

As partículas coloidais adquirem cargas elétricas na superfície, quando expostas ao contato com solvente polar, por diferentes mecanismos, tais como: dissociação de grupos da superfície e adsorção ou dissolução de íons da superfície. Por isso o equilíbrio químico entre os prótons (H^+) e a superfície de óxidos é relevante para compreender o comportamento de dispersões aquosas. A carga da superfície da partícula influencia a distribuição dos íons da solução na vizinhança, atraindo e repelindo contra-íons e co-íons, respectivamente. Essa distribuição de íons desde a superfície da partícula até o interior da solução (meio de dispersão) gera diferentes potenciais e está representada esquematicamente na **Figura 10**.

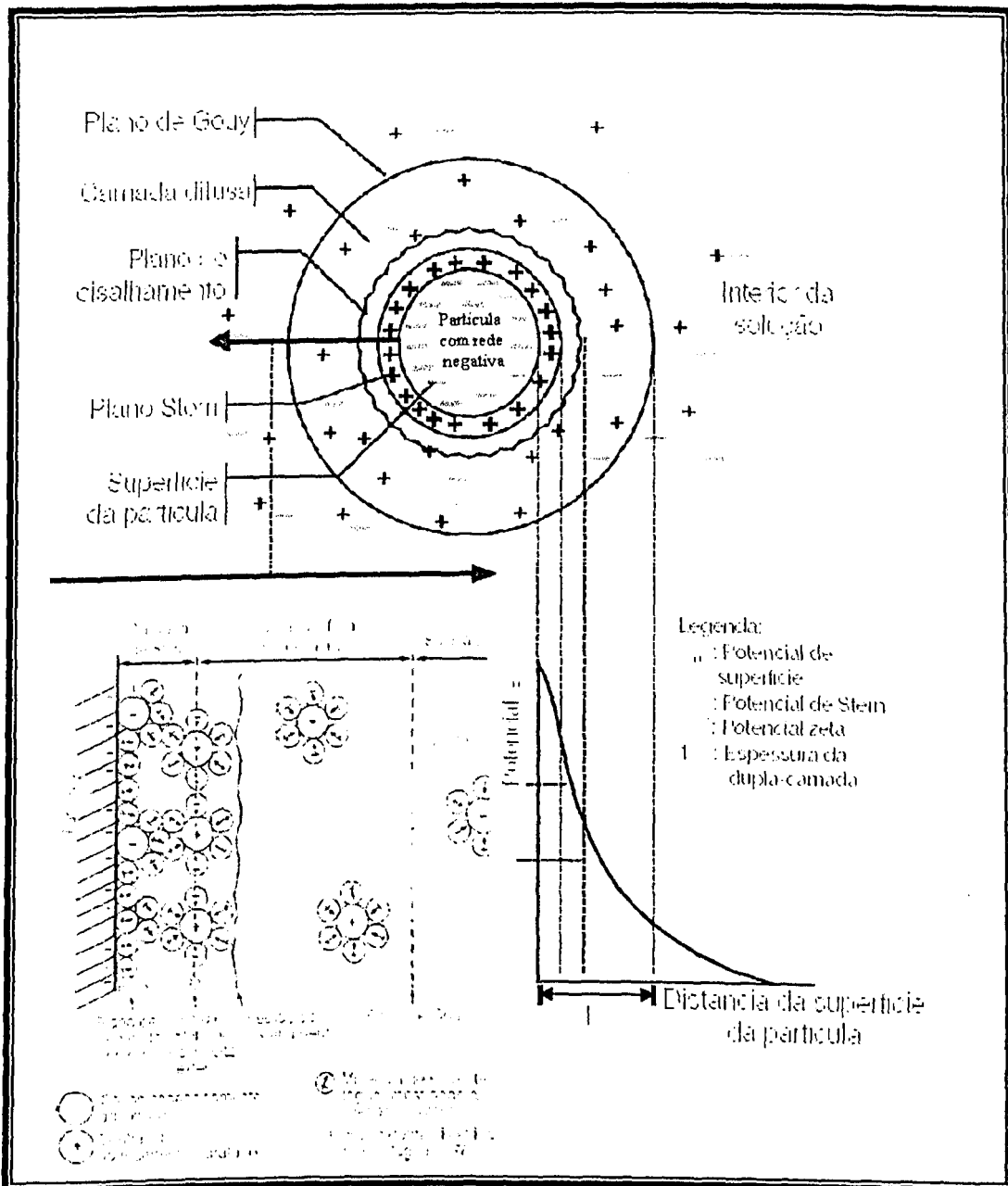


Figura 10 - Esquema da distribuição de cargas na vizinhança de uma partícula carregada e os respectivos potenciais associados à dupla camada elétrica na interface sólido-líquido [20].

O potencial da interfase entre a superfície da partícula e o interior da solução do meio de dispersão diminui mais rapidamente à medida que aumenta a força iônica, porque a dupla camada de cargas que se forma ao redor da partícula é comprimida em direção à superfície, pela concentração de íons da solução. Portanto, as propriedades elétricas dos colóides são governadas pelas interações repulsivas coulombianas. No

entanto, essa energia de repulsão entre as partículas não garante a estabilidade das partículas dispersas. Por isso, na prática, dispersões coloidais podem agregar-se e os agregados sedimentam-se rapidamente, como por exemplo, no caso da dispersão de argila em água. As interações atrativas de curto alcance de Van der Waals induzem a agregação do sistema à medida que as superfícies da partículas se aproximam uma das outras. Essas forças de curto alcance são as mesmas provenientes da polarização de átomos e moléculas (dipolos), constituintes dos sólidos dispersos no meio polar que separa as partículas. Portanto, a energia total de interação (V_T) é a soma resultante das energias de repulsão (V_R) e de atração (V_A) indicada na **Figura 11**.

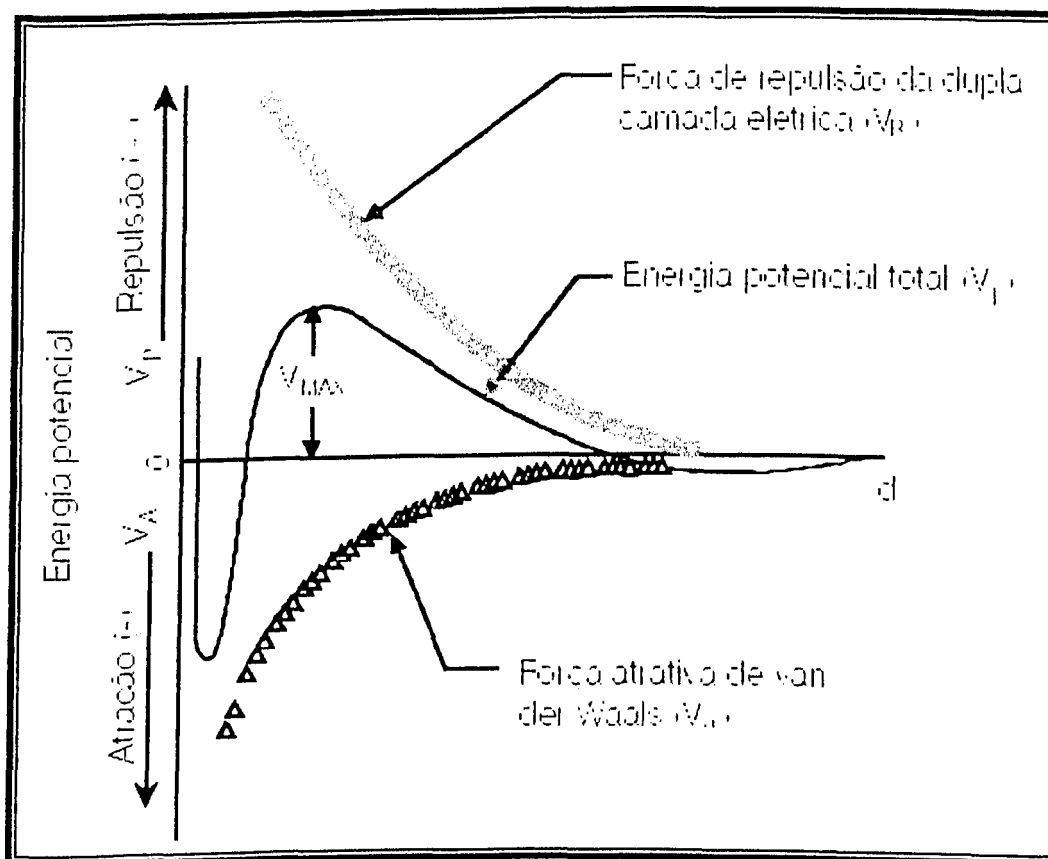


Figura 11 - Energia potencial (V) de interação partícula-partícula em função da distância (d) de separação entre duas partículas coloidais [20].

C – PARÂMETROS DE CONTROLE DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

É comum o emprego do termo coagulação como representativo do mesmo fenômeno expresso pelo termo floculação.

O uso indiscriminado dessas palavras pode levar a erros conceituais que devem ser evitados.

Vale lembrar que o termo coagular provém do latim *coagulare*, que significa juntar e flocular origina-se de *floculare*, que exprime produzir flocos [18].

A coagulação é um processo de desestabilização das partículas coloidais e a floculação é um condicionamento físico-químico que permite o crescimento dos núcleos para obter uma rápida decantação.

As partículas dispersas que apresentam Potencial Zeta (P.Z.) de ordem de -30 mV (ou menor negativamente) têm estabilidade crescente com esse potencial, mas nota-se tendência de aglomeração, à medida que o P.Z. atinge -10 mV. Os melhores resultados são conseguidos quando P.Z. se aproxima de zero. Assim sendo, coagular significa reduzir o Potencial Zeta (negativamente) a tal ponto que se consiga a união de partículas coloidais produzindo flocos, isto é floculando.

A **Figura 12** apresenta a influência do Potencial Zeta no processo de coagulação usando-se sulfato de alumínio como coagulante. Nota-se a diminuição (negativamente) do PZ com o aumento da concentração do sulfato de alumínio e a medida que o PZ se aproxima de zero há uma sensível melhora no processo de coagulação percebido pela diminuição da turbidez até aproximadamente 50 mg.L^{-1} de sulfato de alumínio, após este ponto a turbidez aumenta devido à repulsão dos colóides com o excesso de cargas positivas de alumínio.

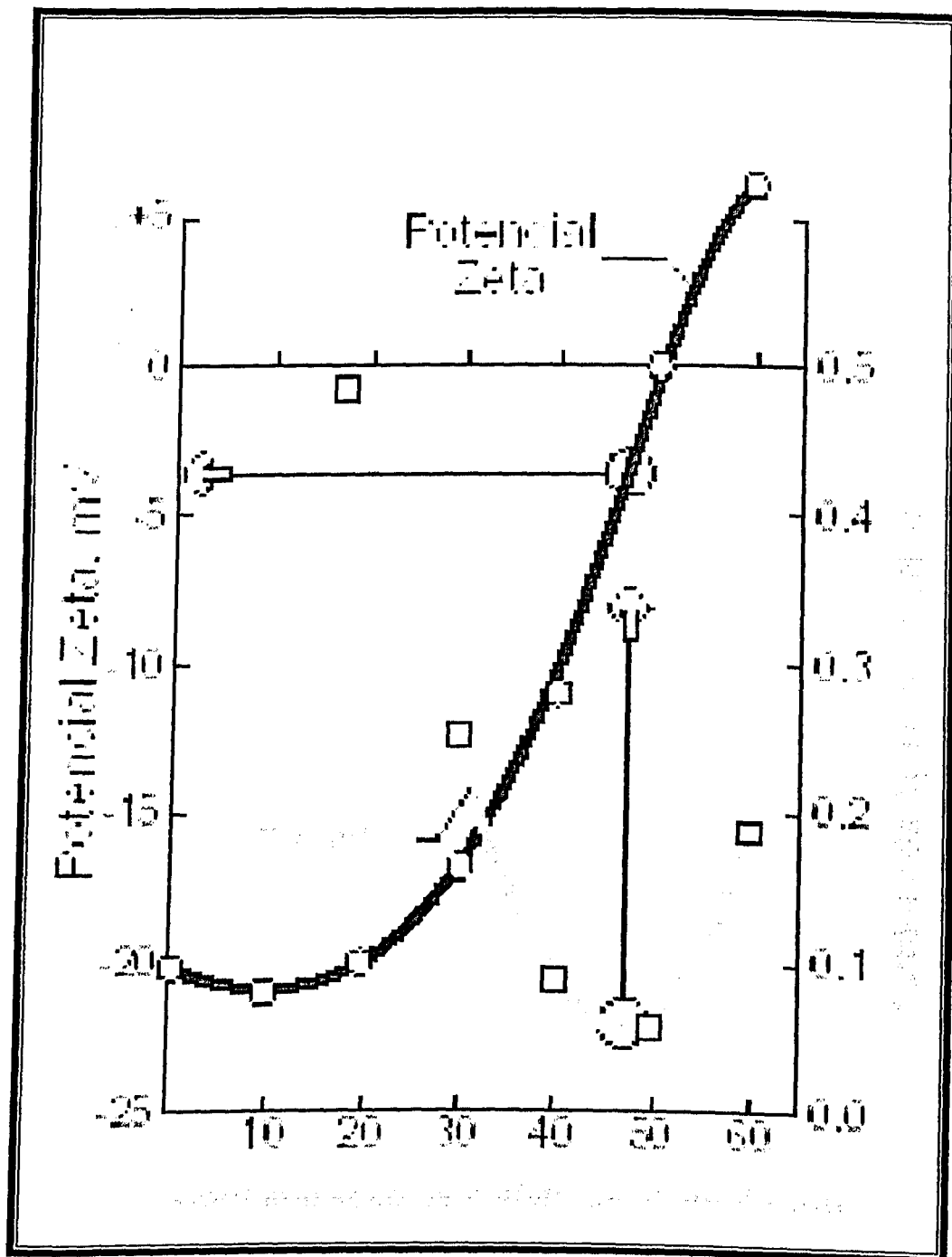


Figura 12 - Influência do Potencial Zeta no processo de coagulação, usando Sulfato de Alumínio como coagulante [19].

D - CONCENTRAÇÃO E NATUREZA DOS ELETRÓLITOS

Estudos devidos a Shulze, Linder e Pencton mostraram que os colóides são extremamente sensíveis a pequenas quantidades de eletrólitos introduzidos na dispersão, relativamente a sua estabilidade.

Hardy (1900) concluiu que essa sensibilidade estava bastante ligada à mobilidade da partícula, quando submetida a um campo elétrico.

A carga das partículas eletrolíticas exerce uma influência muito grande. Isto pode ser descrito pela Regra de Schulze-Hardy que estabelece que na coagulação de sóis, o poder coagulante dos íons bivalentes é 20 a 30 vezes maior que o dos monovalentes e o dos íons trivalentes é 10 a 100 vezes maior que o dos bivalentes [18].

Eletrólitos simples e inorgânicos podem ter um efeito significativo sobre o Potencial Zeta. Esse efeito depende freqüentemente da valência e da concentração dos íons. Na Figura 13 o Potencial Zeta de uma suspensão diluída de sílica coloidal foi modificado pela adição de diferentes eletrólitos. O Cloreto de Alumínio é um eletrólito e seus cátions trivalentes de alumínio facilmente alteram o Potencial Zeta. Contrastando com o efeito do Sulfato de Potássio. A princípio o potencial zeta decresce até o valor de concentração do eletrólito de 50 mg.L^{-1} , mas, a partir de 500 mg.L^{-1} começa a aumentar porque os íons do Sulfato de Potássio começam a comprimir a dupla camada.

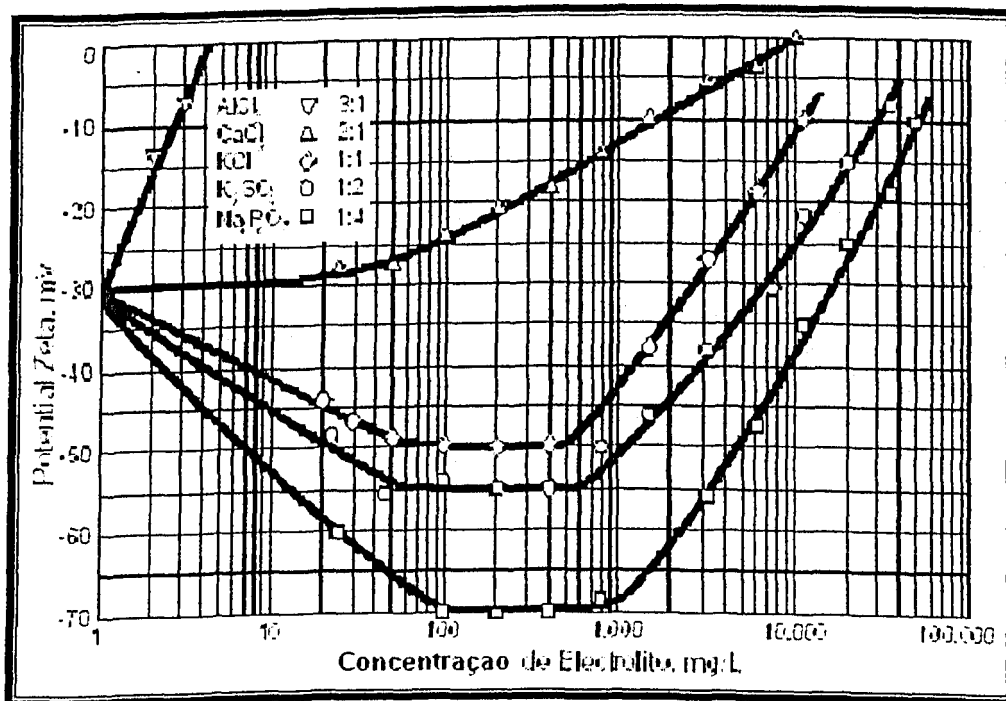


Figura 13 - Influência da carga de eletrólitos sobre o Potencial Zeta [19].

E - FORNECIMENTO DE ENERGIA

Os dois tipos de flocos mostrados na **Figura 14** demonstram o resultado da agitação deficiente, muito rápida (Flocos Grumosos) e o da agitação correta, mais lenta (Flocos Dentríticos).

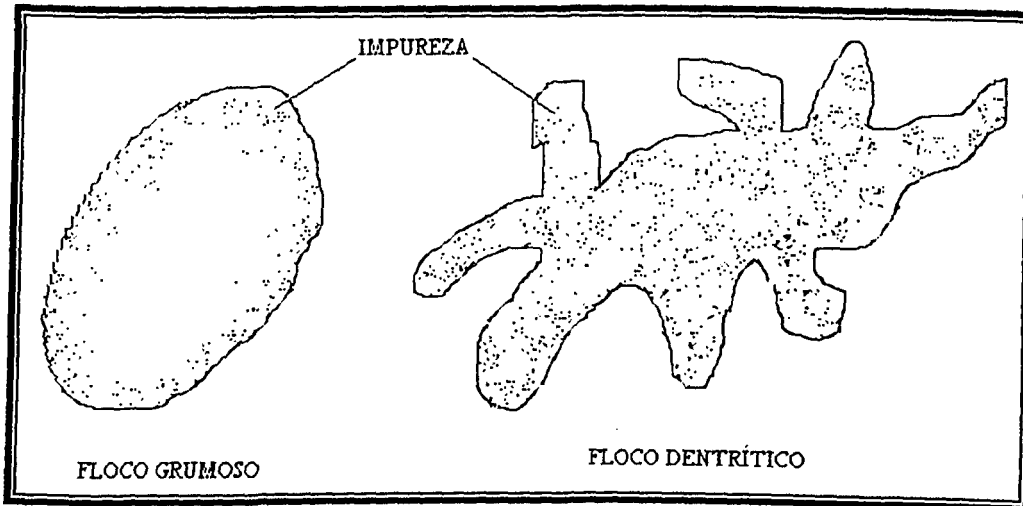


Figura 14 - Influência da agitação na qualidade dos flocos [18].

O flocó dentrítico além de ser mais bem aproveitado, pois engloba impurezas em todo o seu volume, é mais resistente e denso, oferecendo melhores condições de sedimentação.

F - FORMAÇÃO DE COMPOSTOS FLOCULENTOS

Além dos parâmetros já mencionados, outros fatores intervêm na coagulação-floculação, tais como:

a) Tamanho das partículas e turbidez

Técnicos em solos demonstraram que a capacidade de troca iônica está intimamente ligada com as partículas menores que $1,5 \mu\text{m}$ enquanto as de $1,5 \mu\text{m}$ a $5 \mu\text{m}$ servem como núcleos dos flocos. As partículas maiores que $5 \mu\text{m}$ representam muito pouco na floculação.

Quando a água é deficiente em relação às partículas pequenas, adiciona-se substâncias que ajudam a formação dos flocos, tais como: sílica ativada, argilas, flocos pré-formados, polieletrólitos, etc [18].

A turbidez é causada por partículas de vários tamanhos sendo que o tamanho destas partículas varia ao longo da coagulação. Fatores climáticos como chuvas e estiagens também afetam a turbidez da água. Na maioria dos casos, o tamanho das partículas é tal que permite uma rápida decantação. Geralmente, altos níveis de turbidez requerem uma maior dosagem de coagulante, porém esta relação não é linear, visto que a probabilidade de colisão entre as partículas é maior em águas de turbidez mais elevada; o aumento requerido na dosagem de floculante, em função de um aumento na turbidez, é pequeno. Da mesma forma, águas com baixa turbidez podem apresentar dificuldade de floculação. Nestes casos, a formação de flocos costuma ser pequena. A presença de colóides orgânicos, devido à poluição, costuma ser de difícil remoção pelo processo de coagulação.

b) Temperatura

Baixas temperaturas da água a ser tratada tendem a dificultar a coagulação, a cinética das reações químicas é menor, ocorrendo mais lentamente e a dispersão do coagulante também é prejudicada. Em função disso, a coagulação em baixas temperaturas pode ser menos eficiente, exigindo uma dosagem maior de coagulante.

c) Valência do íon metálico do coagulante

Geralmente cátions mono e divalentes não apresentam efeito pronunciado, já os cátions trivalentes apresentam melhores resultados na coagulação e floculação como mostrado na **Figura 13**.

d) pH

O pH é um dos fatores que mais influencia a coagulação. A maioria dos problemas de coagulação estão relacionados com o pH. Fora da faixa ótima a coagulação tem baixo rendimento, resultando em maior consumo de produtos químicos e uma água com qualidade inferior.

O pH exerce papel importante na escolha e dosagem dos coagulantes. Valor de pH ótimo de coagulação de uma água é aquele em que esse fenômeno ocorre num tempo relativamente curto, com certa dosagem de coagulante ou em um tempo maior com dosagem menor dele. Quando se usa sulfato de alumínio para coagulação de uma água o pH ótimo está geralmente na faixa de 5 a 8; com coagulantes férricos,

esse valor está na faixa de 4 a 5 e com sulfato ferroso, está na faixa de 7 a 8 [3].

A Figura 15 representa a variação do Potencial Zeta com o pH e concentração de uma solução de Goethita (argilo-mineral) em NaCl.

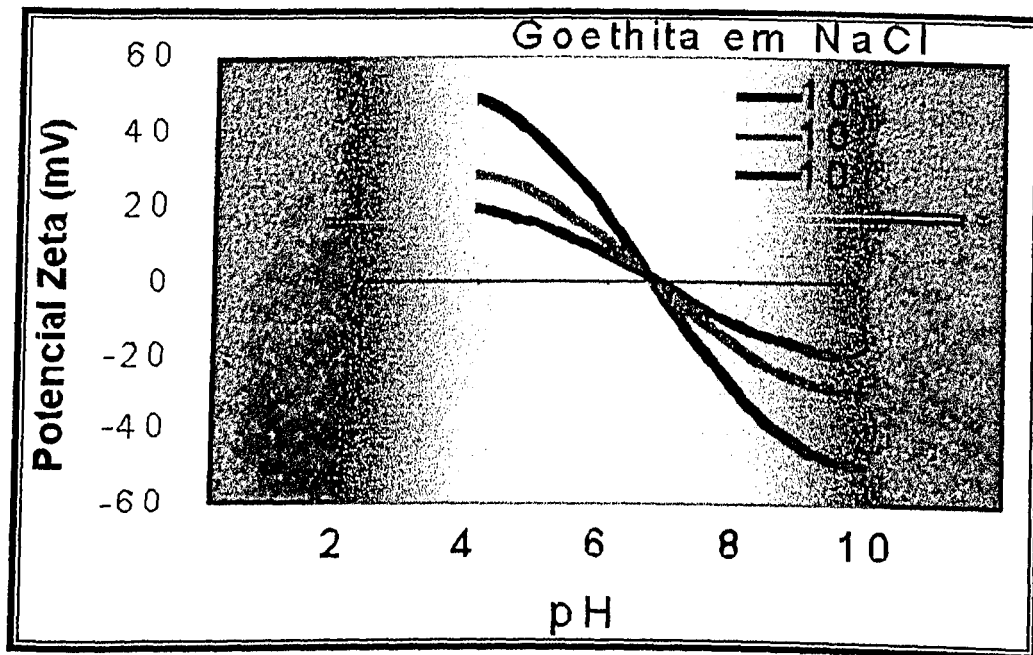


Figura 15 - Influência do pH e concentração do soluto sobre o Potencial Zeta [21].

G - POLIELETRÓLITOS

Na sua grande maioria, a utilização exclusiva de coagulantes e floculantes inorgânicos não permitem a formação de flocos suficientemente densos, determinantes para a obtenção de uma taxa de sedimentação satisfatória. Nestes casos, a utilização de auxiliares de floculação, largamente conhecidos como polieletrólitos é recomendada. Os polieletrólitos são geralmente utilizados em estações de tratamento que trabalham acima de sua capacidade nominal ou nos casos em que se deseja melhorar a qualidade da água tratada. O objetivo do uso dessas substâncias auxiliares de coagulação é diminuir a dose de coagulante, acelerar a formação do floco e desse modo acelerar o processo de sedimentação. Os polieletrólitos são polímeros de longa cadeia molecular

que podem apresentar, quando adicionados à água, um número de cargas muito grande distribuídas através dessa cadeia. Quando essas cargas forem positivas o polieletrólito é chamado catiônico, quando negativas, aniônico, podendo ainda ser não iônico. Os polímeros catiônicos podem ser usados sem a aplicação de coagulante primário, o que não se poderá fazer quando se tratar de aniônicos ou não iônicos. Os catiônicos pelo fato de possuírem cargas positivas podem baixar (negativamente) o potencial zeta a valores bastante reduzidos e ainda promover a floculação [18].

Certos polieletrólitos existentes neutralizam a carga superficial das partículas coloidais e auxiliam assim, o processo de coagulação. Além desses, existem outros que adsorvem as partículas coloidais sem levar em conta a superfície coloidal, obrigando grande parte dessas partículas a se decantarem mais rapidamente [22].

Os polieletrólitos são ainda classificados em fracos e fortes dependendo de suas características de dissociação iônica como mostrado nos exemplos da **Figura 16**.

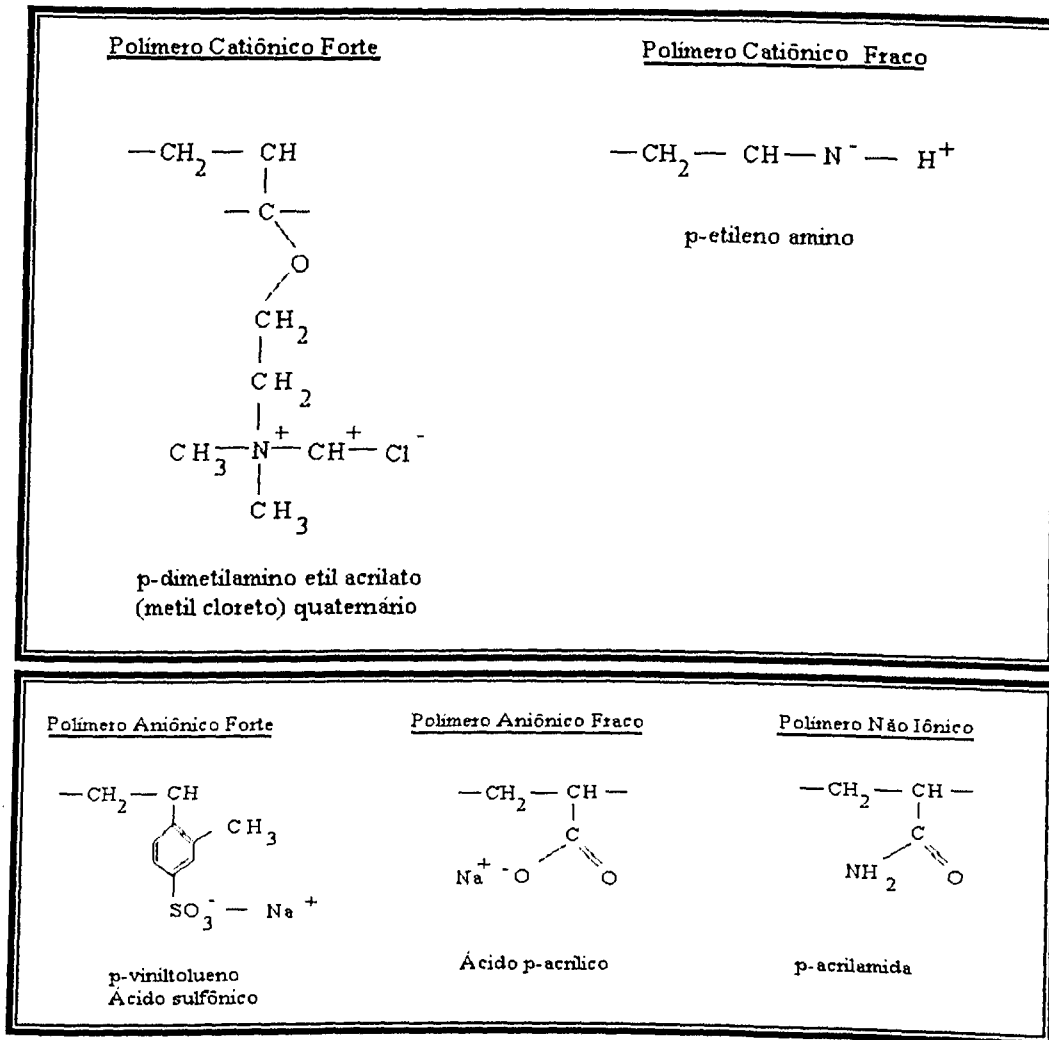


Figura 16 - Classificação dos Polímeros em função de suas características de dissociação iônica.

Os polímeros de peso molecular alto têm cadeias muito longas e por isso, são capazes de estabelecer ligações entre partículas diminutas dispersas na água, facilitando sua aglutinação e as transformando, conseqüentemente, em partículas relativamente grandes. Para que a aglutinação de partículas suspensas na água se verifique, é necessário que a molécula do polímero seja adsorvida nas superfícies de duas ou mais dessas partículas. Para tanto, são fundamentais a carga, o peso molecular e o grupo funcional do polímero. A carga do polímero serve para neutralizar as cargas da matéria em suspensão na água, enquanto o grupo funcional quanto mais atuante, mais facilitará a adsorção das partículas ao polímero. No caso dos polímeros não iônicos, os pequenos

flocos formados se juntam ao polímero, vias ligações de hidrogênio para formar flocos grandes [3].

A Tabela 2 apresenta a nomenclatura dos polímeros em função de sua dissociação iônica em água e suas características gerais.

Tabela 2 - Polieletrólitos usualmente utilizados [2].

<i>Polieletrólito</i>	<i>Característica</i>
Polímeros Aniônicos e Não-Iônicos	Geração de "pontes" entre as partículas já coaguladas e a cadeia do polímero, gerando flocos de maior diâmetro.
Polímeros Catiônicos	Neutralização das cargas elétricas superficiais que envolvem os sólidos suspensos e incremento do tamanho dos flocos formados (via formação de pontes). Usualmente utilizado no tratamento de lamas orgânicas.
Polications	São polieletrólitos catiônicos de baixo peso molecular, os quais possuem como função principal a neutralização das cargas elétricas superficiais e aumento do tamanho dos flocos. Utilizados em substituição aos floculantes inorgânicos convencionais.

A Figura 17 a seguir representa um processo de coagulação/floculação utilizando-se polímeros catiônicos como agentes de coagulação/floculação.

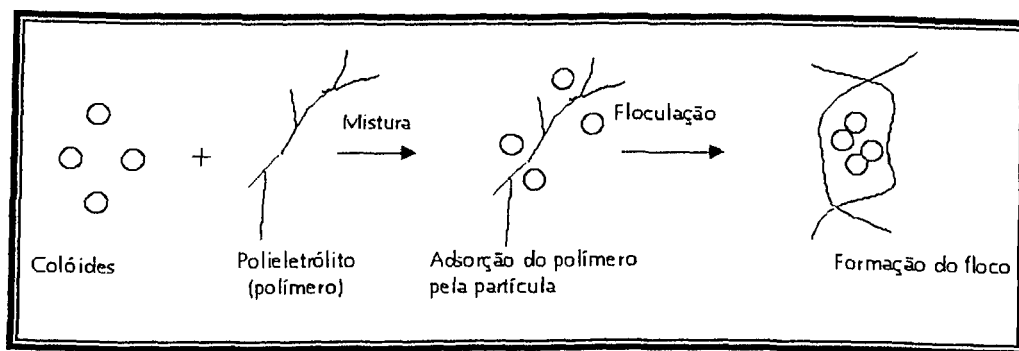


Figura 17 - Representação do processo de floculação utilizando polieletrólitos

Desta explanação, vê-se a importância da estabilidade dos colóides, devido às suas cargas, no tratamento de água.

Pode-se dizer que as principais metas para se obter a coagulação e floculação consistem em:

- Reduzir o Potencial Zeta (negativamente) a valores bastante baixos para que a repulsão entre as partículas não represente oposição ao encontro das mesmas (quando $PZ = 0$, diz-se que se atingiu o "ponto isoelétrico");
- Fornecer energia ao meio para que a agitação acarrete maior número de choques.
- Introduzir no meio, compostos floculentos que auxiliem a formação de aglomerados de partículas.

2.1.2.2 - CLORAÇÃO

Entende-se por desinfecção a destruição de organismos patogênicos, capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis. Tais organismos podem aparecer na água e sobreviver por várias semanas a temperaturas próximas a 21 °C ou, possivelmente, por vários meses a baixa temperatura. Além desse fator, sua sobrevivência depende de vários outros: ecológicos, fisiológicos e morfológicos, incluindo: pH, turbidez, oxigênio, nutrientes, competição com outros

organismos, resistência a substâncias tóxicas, habilidades na formação de esporos, etc.

A cloração surgiu com objetivo de desodorização, pois, acreditava-se que os odores fossem meios pelos quais as doenças eram transmitidas. Assim, o primeiro composto clorado empregado foi o Hipoclorito de Sódio (NaOCl) obtido pela decomposição eletrolítica do sal (NaCl). O uso de cloro líquido foi iniciado em 1908, e sua expansão aconteceu em 1918. O Cloro é usado no tratamento de água como desinfetante para destruir ou dificultar o desenvolvimento de microorganismos de significado sanitário. Nesse caso, podemos citar a ação contra microorganismos patogênicos, algas e bactérias ferro-redutoras.

A desinfecção da água pode ser realizada por outros agentes químicos além cloro, tais como: ozônio, álcalis, ácidos, tensoativos, Bromo e Iodo e também por processos físicos como: calor, radiação ultravioleta e outros [18].

2.1.2.3 - FLUORETAÇÃO

Fluoretação é um termo utilizado para a aplicação de produtos de flúor na água de abastecimento público, consistindo em uma simples adição, de maneira controlada. O flúor traz efeitos benéficos quando a criança o ingere regularmente, desde o seu nascimento até a formação dos dentes. As estatísticas, incluindo as efetuadas em algumas cidades brasileiras, têm comprovado sua eficiência na redução de 50 a 70% da incidência de cáries. Os compostos de flúor mais utilizados são: fluorsilicato de sódio, fluoreto de sódio, fluorita e o ácido fluorsilícico [18].

No início do século XX a cárie dentária era um problema de saúde pública de grande magnitude na maior parte do planeta, inclusive no Brasil. A descoberta do efeito preventivo do flúor transformou-o, ao longo do século, no principal agente utilizado no enfrentamento da doença em todo o mundo. Em vários países e também no Brasil, produtos fluoretados têm sido apontados como os principais responsáveis pelo declínio

observado na prevalência da cárie dentária. No Brasil estudos pioneiros realizados entre 1950 e 1960 corroboraram a eficácia preventiva da fluoretação das águas [23].

2.2 - POLIESTIRENO

O Poliestireno (PS) é o pioneiro entre os termoplásticos, tendo sido iniciado a sua produção comercial em 1930 sob várias formas, a saber:

- Resina cristal ou standard, de uso geral, cujas características principais são a transparência e a fácil coloração. Os maiores usos são para embalagens (principalmente copos e potes para indústria alimentícia), copos descartáveis e caixas de CD's /fitas cassetes;
- Poliestireno expandido ou EPS (mais conhecido no Brasil pela marca comercial Isopor®, da Basf), que é uma espuma rígida obtida através da expansão da resina PS durante sua polimerização por meio de um agente químico. É utilizado, basicamente, como embalagem protetora e isolante térmico; e
- Poliestireno de alto impacto (HIPS) que é um PS modificado com elastômeros de polibutadieno. A resina desse material pode competir com alguns plásticos de engenharia, como o ABS (acrilonitrila, butadieno e estireno) por exemplo, no segmento de vídeo cassetes e componentes de refrigeradores e televisores.
- Existe, também, o PS sindiotático (sPS) oriundo de catalisadores de metalocenos. Atualmente, uma planta piloto no Japão, fruto de uma "joint-venture" entre a Idemitsu e a Dow produz o sPS, onde alguns tipos desta resina apresentam propriedades bastante vantajosas para a indústria eletroeletrônica.

Até o início da presente década, o EPS apresentava problemas na questão ambiental quando se usava o CFC-11 como agente de expansão. Atualmente, mais de 90% dos produtores utilizam agentes alternativos, como por exemplo, o dióxido de carbono. Também naquela época houve muitas discussões sobre o impacto no meio ambiente das embalagens e descartáveis de PS, tanto na sua produção quanto no seu descarte.

Porém a Tabela 3 compara o ônus ambiental do PS com o seu maior concorrente em descartáveis: o papel.

Tabela 3 - Comparativo entre o Copo Descartável de PS e o de Papel quanto aos aspectos Ambientais [24].

ITEM	COPO PAPEL	COPO PS
<u>Forro copo</u>		
<u>Materias primas</u>		
Madeira	25 a 27 g	0 g
Frações do petróleo	1,5 a 2,0 g	3,4 g
Outros agentes químicos	1,1 a 1,7 g	0,07 a 0,12 g
Peso produto acabado	10,1g	1,1g
<u>Par. Temperada média</u>		
<u>Utilidades</u>		
Vapor	9.000 a 12.000 kg	5.500 a 7.000 kg
Energia elétrica	980 kWh	250 a 300 kWh
Água de refrigeração	50 m ³	130 a 140 m ³
<u>Efluentes líquidos</u>		
Volume	50 a 100 m ³	1 a 4 m ³
Sólidos em suspensão	4 a 10 kg	0,1 a 0,5 kg
B. D. D. r ¹	2 a 20 kg	0,2 kg
Organoclorados	2 a 4 kg	0,1 g
Sais minerais	40 a 80 kg	10 a 20 kg
<u>Emissões atmosféricas</u>		
Cloro	0,2 kg	0,1 g
Dióxido de cloro	0,2 kg	0,1 g
Sulfatos	1 a 2 kg	0,1 g
Particulados	2 a 3 kg	0,3 a 0,5 kg
Pentano	0 kg	35 a 50 kg
Dióxido de enxofre	10 kg - aproximado	3 a 4 kg
<u>Potencial de reciclagem</u>		
Para o usuário re-uso	Possível. Provável dano	Fácil
Depois descarte	Possível. Adesivos podem prejudicar	Bom
<u>Descarte</u>		
Incineração	Limpa	Limpa
Recuperação calor	20 MJ/kg	40 MJ/kg
Peso no aterro	10,1g	1,5g
Biodegradabilidade	Sim	Não
Fonte: http://www.vozes.com.br/psos/velocidade.html		
1. Usar vários copos de papel é do "brilho" da indústria de copos de PS e do "lado do descarte".		
2. O PS é o material da química do "depois".		

Muito embora o papel apresente uma grande vantagem, que é a biodegradabilidade, existem muitos dados positivos a favor do PS. Cabe destacar ainda que, a reciclagem do PS representa apenas uma potencialidade, pois atualmente é bastante desprezível a participação do PS reciclado em relação ao consumo do mesmo, inclusive nos países desenvolvidos [24].

2.2.1 - SULFONAÇÃO DO PS

Na literatura existem duas rotas para a sulfonação do poliestireno: a rota homogênea e a rota heterogênea. Na rota homogênea o material de partida é solubilizado e, portanto, se encontra na mesma fase que seu agente sulfonante, o sulfato de acetila. Na rota heterogênea, por outro lado, como agente sulfonante utiliza-se o H_2SO_4 concentrado e o sulfato de prata como catalisador. Neste caso o agente sulfonante é o SO_3 , o qual é gerado em baixas concentrações. A alternativa de utilização do ácido sulfúrico fumegante para aumentar a concentração de SO_3 pode trazer o inconveniente da ocorrência de formação de outros produtos ou mesmo a degradação do material. Na presente Dissertação a rota heterogênea foi utilizada [10, 12, 16, 25].

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental foi realizado nos laboratórios das Estações de tratamento de água do Bom Jardim e Sucupira e estação de tratamento de esgoto de Aclimação do DMAE, com exceção do PSS que foi sintetizado no Laboratório de Reciclagem do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (IQUFU). A coleta da água bruta foi feita no canal de entrada de cada estação de tratamento de água (Bom Jardim ou Sucupira) e o esgoto foi recolhido após o tratamento biológico e antes do canal de flotação para os testes de Jar-test na estação de tratamento de esgoto de Aclimação. Os reagentes que escolhemos para fazer os testes de coagulação/floculação e flotação são aqueles utilizados em cada estação: Sulfato de Alumínio, Cal e Aqualex 360[®] são os mesmos usados nas duas estações de tratamento de água. Cloreto férrico e W 360[®] são os mesmos reagentes utilizados na estação de tratamento de esgoto de Aclimação.

3.1 - EQUIPAMENTOS

- pHmetro, marca Orion, model 310;
- Turbidímetro, marca hach, modelo 2100P;
- Jar-test FlocControl II, marca PoliControl – Estação do Bom Jardim;
- Jar-test, marca Ética – Estação do Sucupira;
- Jar-test, marca QUIMIS. (**Figura 18**) - Estação de Aclimação.

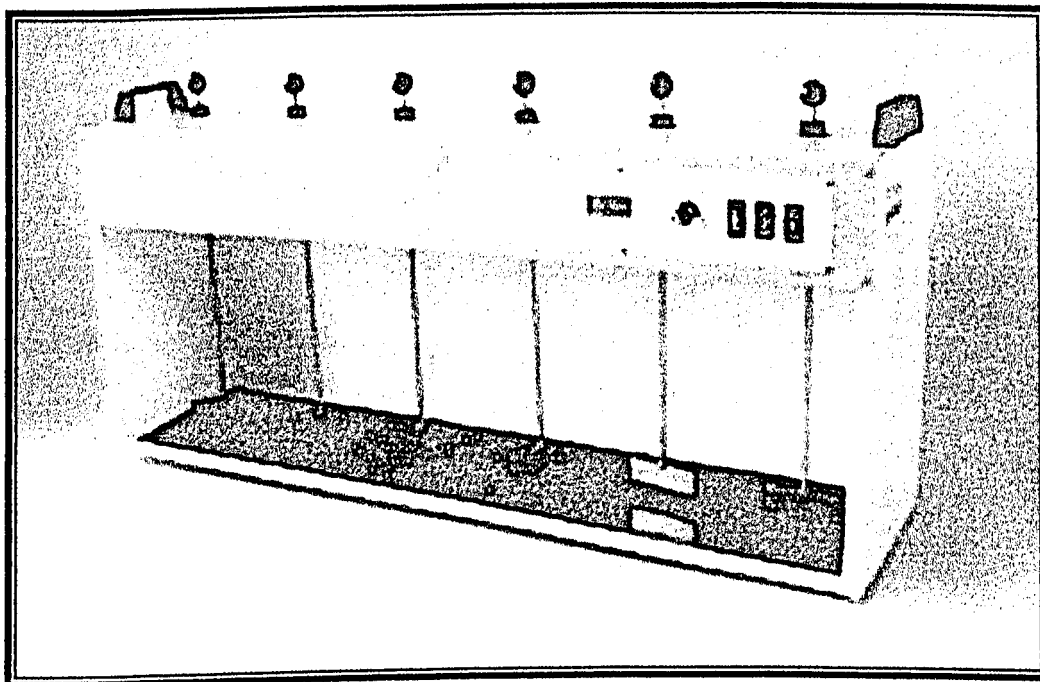


Figura 18 – Um dos Aparelhos de Jar – Test utilizado para realização dos testes de coagulação e floculação.

3.2 - REAGENTES

- Solução aquosa de cal saturada $(Ca(OH)_2)_{(aq)}$ 1,2g/L;
- Solução aquosa de Sulfato de Alumínio $(Al_2(SO_4)_3)$ a 0,1% (m/m);
- Solução aquosa de Cloreto Férrico $(FeCl_3)$ a 1% (m/m);
- Ácido Sulfúrico Concentrado;
- Ácido Acético Concentrado;
- Cloreto de Sódio;
- Soluções aquosas a 0,01% (m/m) dos seguintes polieletrólitos:
 - a) A3015[®] (poliacrilamida de peso molecular alto, caráter aniônico leve, segundo especificações do fabricante); A3040[®] (poliacrilamida de peso molecular médio, caráter aniônico médio, segundo especificações do fabricante); N3100[®] (poliacrilamida de peso

molecular alto, caráter não iônico, segundo especificações do fabricante). Estes materiais foram fornecidos gentilmente pela empresa **DEGUSSA**.

b) Aqualex 360[®] (poliacrilamida de peso molecular médio, caráter aniônico, segundo especificações do fabricante) sendo este o agente auxiliar de coagulação, floculação atualmente usado nas estações de tratamento de água do Bom Jardim e Sucupira do DMAE; W-360[®] (poliacrilamida de peso molecular alto, caráter catiônico, segundo especificações do fabricante) sendo este o agente auxiliar de flotação atualmente usado na estação de tratamento de esgoto de Aclimação do DMAE. Materiais fornecidos gentilmente pela empresa **CHEMSEARCH**.

3.3 - PROCEDIMENTOS

3.3.1 – SULFONAÇÃO DO POLIESTIRENO (PS)

O poliestireno sulfonado foi sintetizado através da reação de sulfonação do poliestireno de copos plásticos pós-consumo com ácido sulfúrico, de acordo com as referências [9,23]. No entanto, o agente de ligação cruzada divinilbenzeno (DVB) não foi utilizado, pois este reagente é utilizado para promover o inter cruzamento inter-cadeias do polímero, o que produzirá um material pouco solúvel em água. Obtém-se da reação um material com aspecto borrachoso de coloração marrom bastante solúvel em água. Sendo este lavado com água fria (em torno de 10 °C) até a retirada do excesso de ácido sulfúrico. O material foi seco em estufa a 90 °C por 24 horas. A sulfonação do poliestireno foi confirmada por espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Pastilhas de KBr com o material produzido foram analisadas em experimento com 8 varreduras em uma resolução de 4 cm⁻¹ usando um espectrofotômetro Perkin Elmer modelo (Espectrum 1000). O grau de sulfonação foi calculado através de titulação volumétrica ácido – base,

sendo o titulante uma solução de NaOH 0.10 M padronizada, usando-se fenolftaleína como indicador. O material produzido apresentou um grau de sulfonação de 60.3 ± 2.41 e massa molar viscosimétrica média de $126.000 \text{ g.mol}^{-1}$, utilizando-se o sistema solvente ácido acético/cloreto de sódio [16].

3.3.2 - ENSAIO DE pH IDEAL PARA ÁGUA

Utilizamos procedimentos padrões para ensaios de Jar-test que tentam reproduzir o processo de coagulação/floculação e decantação de estações de tratamento de água, conforme referência [24], os quais são também utilizados nas estações do DMAE.

Os testes de pH ideal foram feitos num aparelho de Jar-test com seis frascos de um litro, preenchidos com água bruta recolhida no canal de entrada da estação de tratamento de água. Em seguida adicionou-se 7 mg.L^{-1} da solução aquosa de sulfato de alumínio (se a turbidez da água bruta for inferior ou igual a 13 NTU) ou 10 mg.L^{-1} de solução aquosa de sulfato de alumínio (se a turbidez da água bruta for superior a 13 NTU) e solução aquosa de cal saturada ($1,2 \text{ g.L}^{-1}$) em volumes crescentes (A faixa de trabalho de pH foi de 4-9), e o polieletrólito. Em seguida agitou-se por um minuto à rotação de 100 rpm e posteriormente por mais vinte minutos à rotação de 60 rpm. Decantou-se por trinta minutos e recolheu-se uma amostra do sobrenadante, medindo-se a sua turbidez e pH. Observou-se visualmente em qual dos frascos havia formação de flocos maiores e mais densos. Após trinta minutos de decantação mediu-se a turbidez e pH do sobrenadante. O pH ideal foi escolhido pela menor medida de turbidez do sobrenadante. [8, 17, 26].

3.3.3 - ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO PARA ÁGUA

Os testes de coagulação e floculação foram feitos após o teste de pH ideal, num aparelho de Jar-test com seis frascos de um litro,

preenchidos com água bruta recolhida no canal de entrada da estação de tratamento de água (ETA-BJ ou ETA-SUC). Em seguida adicionou-se 7 mg.L⁻¹ de solução aquosa de sulfato de alumínio (se a turbidez da água bruta for inferior ou igual a 13 NTU) ou 10 mg.L⁻¹ de solução aquosa de sulfato de alumínio (se a turbidez da água bruta for superior a 13 NTU) e solução aquosa de cal saturada (1,2 g.L⁻¹) para correção do pH, posteriormente o polieletrólito foi adicionado em concentrações variadas em cinco dos seis frascos, sendo um frasco sem polieletrólito para comparação. Em seguida agitou-se por um minuto à rotação de 100 rpm e posteriormente por mais vinte minutos à rotação de 60 rpm. Decantou-se por trinta minutos e recolheu-se uma amostra do sobrenadante, medindo-se a sua turbidez e pH [8, 17, 26].

3.3.4 - ENSAIO DE FLOTAÇÃO PARA O ESGOTO

Este ensaio foi adaptado do ensaio de coagulação/floculação conforme referência [26] o qual é o mesmo adotado no DMAE, no entanto não esperou-se o material somente decantar, mas também flotar naturalmente pela própria fermentação do esgoto nos frascos do Jar-test. O tempo de agitação lenta (20 rpm) e a agitação foram diminuídos para que não houvesse quebra dos flocos de lodo. O tempo de decantação também foi diminuído para que a interferência da fermentação e conseqüentemente a agitação do esgoto não aumentassem a turbidez da amostra recolhida.

Colocou-se em cada frasco do Jar-teste um litro de esgoto bruto recolhido na estação de tratamento de esgoto de Aclimação (ETE-Aclimação) e adicionou-se 200 mg/L de solução aquosa de Cloreto Férrico e o polieletrólito. O polieletrólito foi adicionado em concentrações variadas em cinco dos seis frascos, sendo um frasco sem polieletrólito para comparação. Em seguida agitou-se por um minuto à rotação de 100 rpm e posteriormente por mais cinco minutos à rotação de 20 rpm. Decantou-se por quinze minutos e recolheu-se uma amostra da água

intermediária entre o lodo flotado e o decantado, medindo-se a sua turbidez e pH.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizou-se uma série de testes comparativos entre polímeros auxiliares de coagulação e flotação usados para o tratamento de água e esgoto, incluindo um polímero alternativo a base de poliestireno reciclado de copos plásticos pós-consumo, para tal utilizamos procedimentos de Jar-test para reproduzir o processo de coagulação/floculação e flotação das estações.

4.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FTIR)

A **Figura 19** apresenta um espectro típico do material sulfonado e sem sulfonar. As principais absorções apresentadas no material sulfonado são: i) 3408 cm^{-1} , as quais são atribuídas ao estiramento OH^- dos grupos $-\text{SO}_3\text{H}$ e da água absorvida; ii) e as bandas na região de 1.320 a 1.170 cm^{-1} , as quais são atribuídas aos estiramentos simétrico e assimétrico da ligação $\text{R-SO}_2\text{-O}$, respectivamente; iii) Em 2600 e 1620 conjunto de bandas difusas que são devidas a presença do íon hidrônio [16, 27].

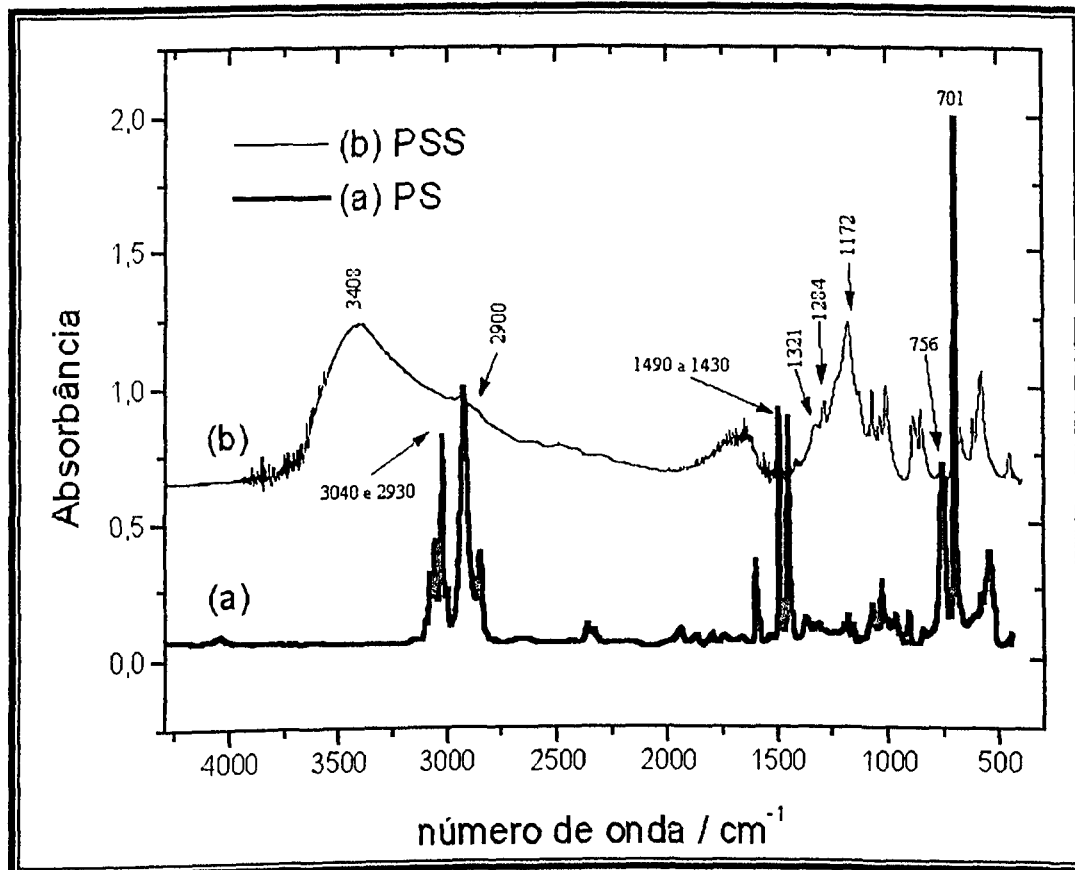


Figura 19. FTIR do Poliestireno Sulfonado e sem sulfonar de copos plásticos pós-consumo.

4.2 - POLÍMEROS AUXILIARES DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA.

A Tabela 4 apresenta os valores médios de turbidez e pH de doze testes de Jar-test realizados com a água bruta da ETA-SUC e ETA-BJ usando-se os polímeros PSS, AQUALEX 360[®] e um branco sem adição de polímero. A dosagem usada de Sulfato de Alumínio foi 7,00 mg.L⁻¹ e a dos polímeros de 1,00 mg.L⁻¹. Estas dosagens foram escolhidas em função das dosagens médias usadas nas duas estações. O pH ideal de coagulação para os testes foi de 6,70.

Tabela 4 – Resultados experimentais médios dos testes realizados na ETA-SUC e ETA-BJ para o PSS (1) AQUALEX 360 (2) e um branco (3).

Água Bruta	pH médio = 6,41	Turbidez _{média} (NTU) = 5,0	Temperatura _{média} (°C) = 25
Polímeros			
1	6,64	2,27	25
2	6,66	3,07	25
3	6,62	2,35	25

Pela tabela acima verificamos que em média os resultados do PSS (1) foram melhores do que os do AQUALEX 360[®] (2). Os resultados do PSS e do branco (3) foram praticamente os mesmos, por outro lado os resultados do AQUALEX 360[®] foram piores. Os resultados médios de ambos polieletrólitos inicialmente davam a entender que não havia a necessidade de sua adição para melhorar o processo de tratamento desse tipo de água de turbidez inferior 5 NTU. Como todos os testes foram feitos com uma única dosagem de polímero (1 mg.L⁻¹), outros ensaios foram realizados variando-se a dosagem.

A **Figura 20** mostra os resultados de turbidez dos testes de Jar-Test realizados para os polímeros PSS e AQUALEX 360[®] com água bruta da ETA-BJ. A turbidez da água bruta estava em torno de 4,80 NTU e o pH 6,20. A dosagem usada de Sulfato de Alumínio foi 7,00 mg.L⁻¹ e o pH ideal de coagulação para os testes foi de 6,30.

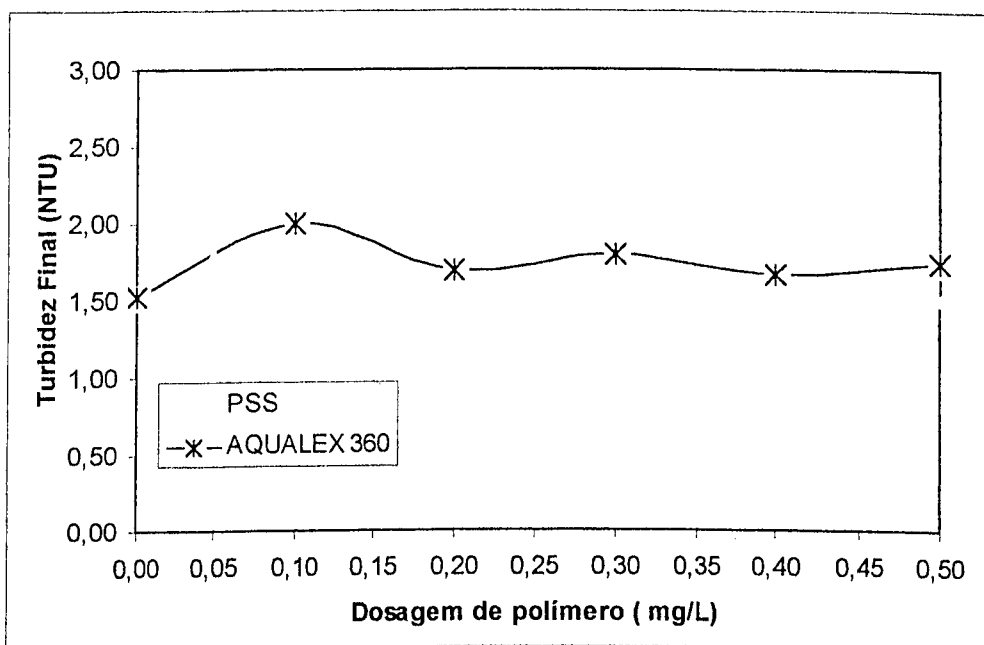


Figura 20 – Turbidez final da água decantada em função da dosagem (mg.L^{-1}) de PSS e AQUALEX 360.

Analisando a Figura 20, percebemos que de forma geral, a variação da dosagem de ambos polímeros, tende a dificultar ou não interferir no processo de diminuição de turbidez, o que reforça a hipótese de que esse tipo de polímero de caráter aniônico mais acentuado, não atua muito bem em águas de turbidez inferior a 5 NTU e não raras vezes pioram o processo de clareamento da água.

Alguns testes adicionais foram feitos com uma água bruta um pouco mais turva e os resultados são apresentados a seguir:

A Figura 21 apresenta os resultados de turbidez dos testes de Jar-Test realizados para os polímeros PSS e AQUALEX 360[®], com água bruta da ETA-BJ. A turbidez da água bruta estava em torno de 33,0 NTU e o pH 6,20. A dosagem usada de Sulfato de Alumínio foi $10,00 \text{ mg.L}^{-1}$ e o pH ideal de coagulação para os testes foi de 6,30.

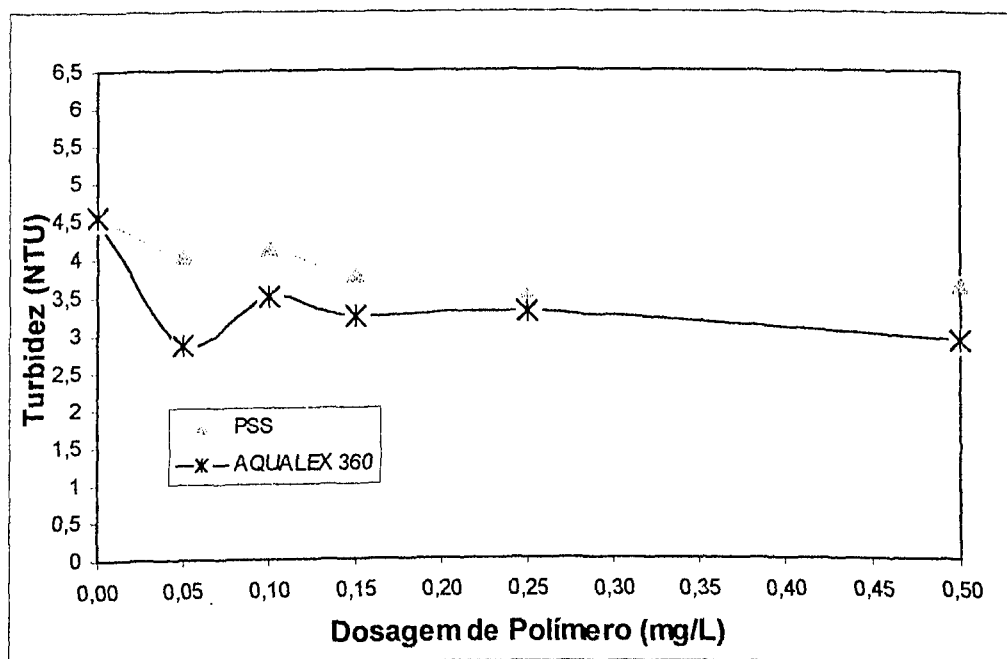


Figura 21 – Turbidez final da água decantada em função da dosagem (mg.L^{-1}) de PSS e AQUALEX 360[®].

Pelos resultados apresentados na Figura 21 notamos que há uma sensível melhora na diminuição da turbidez com o aumento da dosagem de ambos polímeros aniônicos, o que evidencia que este tipo de polímero é mais eficiente em águas mais turvas. A Figura 21 tem uma característica diferente da Figura 20, onde a adição dos polímeros não tinha nenhuma eficiência.

A Figura 22 representa os resultados de um experimento onde foram testados cinco tipos de polieletrólitos usados para o tratamento de água, de massa molecular e carga iônica variados, sendo que quatro eram aniônicos e um não iônico, todos à base de poliacrilamida com exceção do PSS. A turbidez inicial da água bruta estava em torno de 12,80 NTU e o pH 6,30. A dosagem usada de Sulfato de Alumínio foi 7,00 mg.L^{-1} e o pH ideal de coagulação para os testes foi de 6,10.

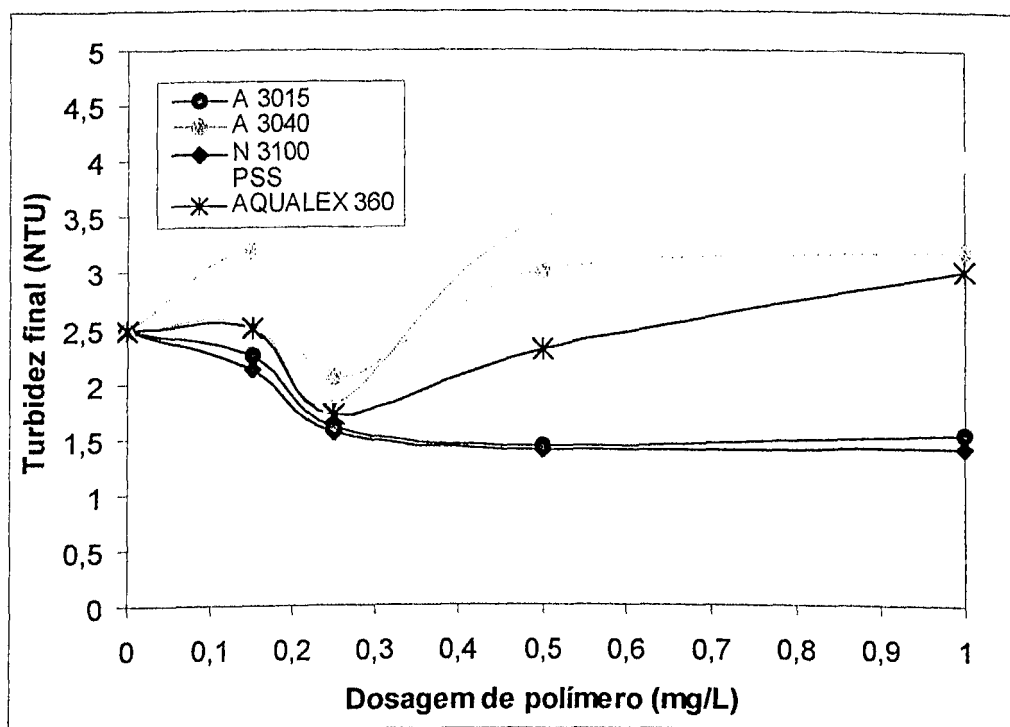


Figura 22 – Turbidez final da água decantada em função da dosagem (mg.L^{-1}) de polieletrólito.

Com os polieletrólitos A3015[®] e N3100[®] atingiu-se um valor mínimo de turbidez de aproximadamente 1,50 NTU, e com os polieletrólitos PSS, AQUALEX 360[®] e A3040[®], os valores limites de turbidez são de aproximadamente 1,75 NTU, 1,80 NTU e 2 NTU respectivamente e dosagem ideal de polieletrólito de $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$. Os resultados mostram também que o N3100[®] (caráter não iônico, especificado pelo fabricante) e o A3015[®] (caráter levemente iônico, especificado pelo fabricante) apresentaram uma eficiência melhor em concentrações acima de $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$. Além disso, apesar da turbidez se manter constante com o aumento da dosagem desses dois polieletrólitos, os flocos formados (observação visual) foram os de maiores tamanhos. Quando comparados entre si, os flocos formados com o uso do N3100[®] são ainda maiores do que aqueles formados com o A3015[®]. Tal fato é relevante, pois o aumento do tamanho dos flocos favorece o processo de separação (decantação), apesar de não haver grande diminuição de turbidez [27].

Podemos observar dois tipos de comportamento para os polieletrólitos utilizados: i) o comportamento em que a curva de turbidez passa por um ponto de mínimo, Aqualex 360[®], PSS e A3040[®] que são

polieletrólitos de caráter iônico mais acentuado. Neste caso, o aumento da dosagem além do valor de $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$ causa um aumento da turbidez sendo que com $1,00 \text{ mg.L}^{-1}$ o valor da turbidez para o PSS é maior. O aumento da turbidez pode ser explicado pelo predomínio de um efeito de repulsão eletrostática que impede o processo de coagulação [10]; e ii) o comportamento em que a curva de turbidez apresenta um decaimento exponencial tornando-se constante a partir da concentração de $0,50 \text{ mg.L}^{-1}$. Para estes tipos de polieletrólitos (A 3015 e N 3100), como os tamanhos dos flocos obtidos foram os maiores (observação visual), o comportamento observado deve ser atribuído a um possível efeito da massa molar dos mesmos no mecanismo de enlace interpartículas [27].

Devido às características das águas da ETA-BJ, que são pouco turvas com média anual de $5,0 \text{ NTU}$ e não ultrapassando um máximo de $33,0 \text{ NTU}$ mesmo em épocas de chuvas, o mecanismo eletrocinético de neutralização das cargas dos colóides, tenha sido prejudicado pela pequena quantidade de partículas de carga existentes na água, por isso os polieletrólitos com carga iônica mais acentuada foram menos eficientes que os polieletrólitos com carga iônica menos acentuada.

Reconsiderando o exposto acima se pode afirmar que os polímeros PSS e AQUALEX 360[®] de caráter aniônico mais acentuado, não atuam muito bem em águas de turbidez inferior a 5 NTU e não raras vezes pioram o processo de clareamento da água (Figura 20, 22 e Tabela 2). Este fato aparentemente não era do conhecimento do DMAE, pois o AQUALEX 360[®] é usado independente da turbidez da água bruta que chega nas estações. Já com águas com turbidez um pouco mais alta, turbidez acima 30 NTU os polímeros PSS e AQUALEX 360[®] se mostraram mais eficientes. Tal fato pode ser explicado pelo favorecimento do mecanismo eletrocinético de neutralização das cargas dos colóides que neste caso se avolumam numa concentração maior. Diante do exposto, pode-se considerar que esses polímeros podem ser bastante eficientes para o tratamento do esgoto. O que foi verificado a seguir.

4.3 - POLÍMEROS AUXILIARES DE FLOTAÇÃO PARA O TRATAMENTO DO ESGOTO.

A Tabela 5 apresenta a média de turbidez e pH de quatro testes de Jar-test realizados com esgoto bruto da ETE-Aclimação usando-se os polímeros PSS, AQUALEX 360[®], W-360[®] e um branco sem adição de polímero. A dosagem usada de Cloreto férrico foi de 200 mg.L⁻¹ e a dos polímeros de 1 mg.L⁻¹, sendo estes valores os mesmos utilizados no processo de tratamento.

Tabela 5 – Resultados experimentais médios dos testes realizados na ETE-Aclimação para o PSS (1), AQUALEX 360 (2), W-360 (3) e um branco (4).

Esgoto Bruto	pH médio = 5,80	Turbidez _{média} (NTU) = 200	Temperatura _{média} (°C) = 24
Polímeros			
1	5,83	5,64	24
2	5,89	6,64	24
3	5,89	8,07	24
4	5,92	10,2	24

Analisando a Tabela 5 verifica-se que os polímeros aniônicos são bastante eficientes para o tratamento de flotação do esgoto, mais ainda que o polímero W-360[®] (caráter catiônico segundo especificações do fabricante). Tal fato pode ser explicado devido a prevalência de carga positiva dos íons complexos de ferro em pH inferior a 6, com o acréscimo das cargas positivas dos polímeros catiônicos o processo de flotação foi prejudicado pela repulsão eletrostática, no entanto, na adição dos polímeros aniônicos de cargas negativas o processo foi beneficiado pela atração eletrostática das cargas. O polímero que apresentou os melhores resultados foi o PSS talvez devido a suas características aniônicas fortes. Para que os polímeros catiônicos tenham melhor eficiência seria necessário que o pH estivesse acima de 6, onde íons complexos negativos de cloreto férrico são favorecidos ao invés dos íons positivos de ferro.

5- CONCLUSÕES

- 1) Os polímeros PSS e AQUALEX 360[®] de caráter aniônico mais acentuado, não atuam muito bem em águas de turbidez inferior a 5 NTU e não raras vezes pioram o processo de clareamento da água, no entanto em se tratando de águas um pouco mais turvas, turbidez acima 30 NTU, os polímeros se mostraram eficientes.
- 2) Os polímeros PSS e AQUALEX 360[®] são eficientes para o tratamento do esgoto.
- 3) Os resultados mostraram que dentre os polieletrólitos estudados para o tratamento da água das duas estações de tratamento de água do DMAE os polímeros (A3015[®] , N 3100[®]) foram os mais eficientes devido a suas características de carga baixa e massa molar maior.
- 4) O PSS se mostrou bastante promissor no processo de flotação do esgoto utilizando-se Cloreto Férrico, podendo vir a ser uma alternativa ecológica de reutilização dos detritos de poliestireno.

6- PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1) Produzir um polímero a base de poliestireno com massa molecular maior e caráter iônico menos acentuado que também possua eficiência em amostras de água com turbidez em torno de 5 NTU.
- 2) Realizar mais testes com o PSS na flotação do esgoto e inclusive no processo de flotação da própria estação piloto de Aclimação.
- 3) Analisar a água e o esgoto oriundos do tratamento com o PSS frente aos requisitos do ministério da saúde (Portaria 518, 2004).

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

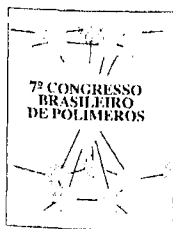
1. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), São Paulo, **Técnica de abastecimento e tratamento de água**, vol 1, 2ª ed., pág. 4,135-136, 1978.
2. Fonte da internet: [http// www.kurita.com.br](http://www.kurita.com.br), Acesso em: maio/2002.
3. DREW PRODUTOS QUÍMICOS S.A., D.T.A.I., **Utilização de polieletrólitos como auxiliares de floculação**, pág. 1-16, 1981.
4. BAJDUR, W., PAJACZKOWSKA, J., MAKARUCHA, B., SULKOWSKA A., SULKOWSKI, W.W., Effective polyelectrolytes synthesised from expanded polystyrene wastes, *European Polymer Journal*, 38 (2002) 299-304.
5. Yoshiga, A., Toffoli, S.M., Wiebeck, H., Estudo do composto PVC Reciclado/CaCO₃ em Pastas Vinílicas, *Polímeros: Ciência e Tecnologia/ Associação Brasileira de Polímeros (ABPOL)*, 14 (3) (2004) 134-135.
6. Fonte da internet:[http// www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbrenergia/notatecnicaenergia.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbrenergia/notatecnicaenergia.shtm), Acesso em: setembro /2004
7. Fontedainternet:[http//www.fazenda.gov.br/seae/documentos/pareceres/Ind.%20Processo/pcr063362004RJ_ac08012009066200399.pdf](http://www.fazenda.gov.br/seae/documentos/pareceres/Ind.%20Processo/pcr063362004RJ_ac08012009066200399.pdf), Acesso em: Setembro/2004.
8. Landim, Alan Soares, **Análise, estudo e verificação das propriedades do Poliestireno Sulfonado (P.E.S.) como agente auxiliar de coagulação e flotação nas águas e esgoto das estações de tratamento do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE), Relatório de Estágio**

- Supervisionado de Graduação, Instituto de Química-Universidade Federal de Uberlândia, 2002.
9. Royer, B., Assunção, R.M.N., Filho, G.R., Efeito da porcentagem de PSSNA (Poliestireno Sulfonado de Sódio) aplicado como aditivo em argamassa de cimento Portland CPV32, in anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros, Belo Horizonte-MG, (2003) 545-546.
 10. Assunção, R.M.N.; Royer, B.; Oliveira, J.S.; Filho, G.R.; Motta, L.A.C., Utilização de Poliestireno Sulfonado Produzido a partir de copos plásticos de poliestireno reciclado, como aditivo em argamassa de cimento portland tipo CPII32, in Anais do 6º Congresso Internacional de Polímeros/IX, International Macromolecular Colloquium, Gramado, 1 (2001) 1857-1858.
 11. Inagaki, Y., Kuromiya, M., Noguchi, T., Watanabe, H., Reclamation of Waste Polystyrene by Sulfonation, *Langmuir* 15 (1999) 4171-4175.
 12. Kucera, F., Jancar J., Homogeneous and heterogeneous sulfonation of polymers: A review, *Polym. Eng. and Sci.*, 38 (1988) 783-792.
 13. Carvalho, A. J. F., Curvelo A. A. S., Effect of sulfonation level on solubility and viscosity behaviour of low to medium charged sulfonated polystyrenes, *Macromolecules*, 36 (2003) 5304-5310.
 14. Martins, C. R., Ruggeri, G., De Paoli M-A, Synthesis in pilot plant scale and physical properties of sulphonated polystyrene, *J. Braz. Chem. Soc.*, 14 (2003) 797-802.
 15. Rodrigues Filho, G., da Silva, R. C., Meireles, C. S., de Assunção, R. M. N., Otaguro. H., Water flux trough blends from waste materials: Cellulose Acetate (from sugar cane bagasse) with polystyrene (from plastic cups), *J. Appl. Polymer Sci.*, (2005), to appear.

16. Assunção, R. M. N., Royer B., Oliveira., J. S., Rodrigues Filho, G., Motta, L. A. C., Synthesis, characterization, and application of the sodium poly(styrenesulfonate) produced from waste polystyrene cups as na admixture in concrete, J. Appl. Polymer Sci., (2005), to appear.
17. Landim, A.S.; Maldonado, A.C.D.; Filho, G.R., Assunção, R.M.N., Estudo das Propriedades do Poliestireno Sulfonado (P.S.S.), como agente auxiliar alternativo de coagulação e floculação nas águas do Departamento Municipal de Água e esgoto de Uberlândia (DMAE), in Anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros, Belo Horizonte-MG, 1 (2003) 97-98.
18. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), São Paulo, **Técnica de abastecimento e tratamento de água**, vol 2, 2ª ed., pág. 581-945, 1977.
19. Fonte da internet: <http://www.zeta-meter.com/redchile.pdf>, Acesso em: agosto/2004.
20. QUÍMICA NOVA NA ESCOLA, **O Mundo dos Colóides**, 9 (1999) 9 - 11.
21. Fonte da internet: [http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas.pmp/arquivos.pmp1-4 %20Aditivos.ppt](http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas.pmp/arquivos.pmp1-4%20Aditivos.ppt), Acesso em: agosto/2004.
22. Schwoyer, Willian L. K., **Polyelectrolytes for Water and Wastewater Treatment**, CRC Press, Inc., United States, (1986), pág. 93.
23. Narvai, Paulo Capel, Cárie dentária e flúor: uma relação do século XX, *Ciência e Saúde Coletiva* ; 5 (2) (2000) 381-92.
24. Fonte da internet: <http://www.bndes.gov.br.conhecimento.relato.poliesti.pdf>, Acesso em: setembro/2004.

25. Holboke, A. E., Pinnelli, R. P., Sulfonation of polystyrene – preparation and characterization of na ion-exchange resin in the organic laboratory, J. Chem. Ed., 66 (1989) 613-614.
26. Miguel, J. T. A., **Controle Químico de Qualidade**, editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro-RJ, 1982, pág. 71.
27. Petzold, G., Mende, M., Lunkwitz, K., Schwarz, S., Buchhammer. H-M., Higher efficiency in the flocculation of clay suspensions by using combinations of oppositeley charged polyelectrolytes, Colloids and Surfaces A: Phys. Eng. Asp. 218 (2003) 47-57.

8 - ANEXO



ANÁLISE, ESTUDO E VERIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO POLIESTIRENO SULFONADO, (P.E.S.), COMO AGENTE AUXILIAR ALTERNATIVO DE COAGULAÇÃO NAS ÁGUAS DO DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA (DMAE).

Alan S. Landim¹, Alírio C. D. Maldonado², Guimes R. Filho^{3*}

1 Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia – alanlandim@yahoo.com.br; 2 Departamento Municipal de água e esgoto de Uberlândia - DMAE; 3 Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, 38400-902 Uberlândia/MG – guimes@ufu.br*

Analysis, study and verification of the properties of polystyrene sulfonate, (P.S.S.), as alternative agent auxiliary of coagulation in waters of the Departamento Municipal de água e esgoto de Uberlândia (DMAE).

This work treats of the use of the recycled polystyrene sulfonate (P.S.S.) of commercial plastic cups, as coagulation and flocculation alternative agent auxiliary in the chemical treatment of clarify of residential waters. Studies were conducted for water from the Departamento municipal de água e esgoto de Uberlândia (DMAE). Simple and fast measures of turbidity and pH in them had been of great utility to study the effectiveness of polymer. The results of the P.S.S. had been compared with a commercial polymer of polyacrylamide of commercial name Aqualex used in the DMAE. It was found that the polyelectrolytes have good flocculation and coagulation properties similar to those of anionic type commercial polyelectrolytes [1]. However, later studies will be necessary from to better understanding of process; but this work is important as initial step for future works.

Introdução

Sem o abastecimento adequado de água potável, as grandes cidades não poderiam existir ou, se existissem, a vida nelas seria desagradável e perigosa. O abastecimento com água subterrânea é freqüentemente inadequado para grandes demandas. As águas de superfície devem ser tratadas cada vez mais cuidadosamente à medida que a densidade populacional cresce. As indústrias estão sempre necessitando de uma quantidade maior de águas, bem como, de sua melhor qualidade nas fontes de suprimento. Os rios, naturais fontes de abastecimento, recebem uma quantidade sempre crescente de esgotos e despejos industriais, exigindo assim, maior atenção para solução dos problemas advindos da inadequação dada aos tratamentos de esgotos e de sua relação com a poluição dos cursos de água [2].

Uma boa solução acerca da poluição ambiental causada por resíduos de polímeros plásticos pode ser sua reciclagem química em produtos úteis. O uso de resíduos do poliestireno modificado, para a produção de polieletrólitos, é uma razoável solução. A grande variedade de poluentes e a tecnologia universal de tratamento de água e esgoto impõem a necessidade de uma nova tecnologia para melhorar o tratamento de água, causando um grande crescimento na demanda por polieletrólitos com parâmetros específicos. A modificação de polímeros oferece produtos com

propriedades químicas e físicas apropriadas que podem ser usados como polieletrólitos.

Nas unidades de tratamento água e de esgoto, o processo de coagulação é muito importante. Esse processo permite a remoção dos colóides presentes nas águas. Possibilita também a remoção de partículas finamente divididas e uma parte das substâncias solvatadas. O objetivo do uso dessas substâncias auxiliares de coagulação é diminuir a dose de coagulante, acelerar a formação do floco e desse modo acelerar o processo de sedimentação. Entretanto, estudos tecnológicos para melhor desvendar o processo, ainda devem ser conduzidos.

O uso mais importante dos polieletrólitos é a sua aplicação no tratamento de águas de indústrias e como auxiliares no processo de sedimentação-centrifugação, sendo menos usados no tratamento de água potável. Sua aplicação diminui o consumo de coagulante, diminui o tempo de floculação e melhora as propriedades de sedimentação das suspensões.

Polieletrólitos e trocadores iônicos podem ser obtidos por síntese de novas substâncias ou a partir da reciclagem química de resíduos poliméricos. A síntese de trocadores iônicos e polieletrólitos é um problema tecnológico muito interessante. Todavia, como os polieletrólitos usados nos tratamentos não são reaproveitados, é importante obtê-los a partir de resíduos poliméricos [1].

Experimental

P.E.S.

O poliestireno sulfonado foi produzido a partir de copos plásticos brancos da marca ZANATA. De acordo com o procedimento descrito na referência [3].

Ensaio de coagulação e floculação

Os testes de coagulação e floculação foram feitos num aparelho de Jar-test marca Ética com cinco frascos de 1 litro que foram preenchidos com água bruta da estação de tratamento de água e em seguida adicionou-se 1µL de sulfato de alumínio a 10% e 1,5µL do polímero. Corrigiu-se o pH com cal saturada até atingir o pH ideal de floculação que, para as águas e esgotos que foram utilizados, podem variar de 6,0 a 6,7, dependendo da temperatura, turbidez e acidez da água bruta, este procedimento está descrito abaixo. O peagâmetro utilizado foi da marca Orion, model 310; Em seguida agitou-se à rotação de 100 rpm por um minuto e após agitou-se por mais vinte minutos à rotação de 60 rpm. Decantou-se por trinta minutos e recolheu-se a água a 20cm de profundidade no frasco com uma pipeta, medindo-se a sua turbidez final num turbidímetro, marca hach, modelo 2100P.

Ensaio de pH ideal

Em cinco frascos do Jar-test, colocou-se um litro de água bruta da estação de tratamento e adicionou-se um volume de 1µL de sulfato de alumínio a 10% e 1,5µL polímero auxiliar de floculação. Agitou-se por um minuto à rotação de 100 rpm e em seguida colocou-se volume crescente de cal saturada nos frascos agitando-se por vinte minutos à rotação de 60 rpm. Observou-se em qual dos frascos havia formação de flocos maiores e mais densos. Após trinta minutos de decantação mediu-se a turbidez e pH da água superficial. O pH ideal foi escolhido pela menor medida de turbidez da água superficial e tamanho dos flocos formados [4].

Teste com o P.E.S. neutralizado com cal.

Outros testes foram feitos neutralizando o poliestireno sulfonado (P.E.S.) com cal saturada antes de se adicionar o mesmo na água bruta. Seguindo-se os mesmos passos acima.

Resultados e Discussão

A tabela 1 a seguir apresenta os resultados experimentais dos testes de Jar-test realizados com a água bruta da estação de tratamento. Os frascos 1 a 3 são os resultados do teste de floculação e coagulação usando-se o polímero auxiliar de coagulação Aqualex, o qual é o reagente auxiliar usado no tratamento da água da estação e os frascos 4 e 5 com o Poliestireno Sulfonado (P.E.S.).

Tabela 1 - Comparação dos resultados experimentais do P.E.S. e Aqualex.

ÁGUA BRUTA		
pH:	TURBIDEZ:	TEMPERATURA °C:
	pH de floculação	TURBIDEZ (NTU)
1	6,70	3,95
2	6,33	3,48
3	4,73	5,46
4	6,70	1,85
5	4,84	2,80

A tabela 2 mostra os resultados do ensaio onde os frascos de 1 a 3 são com P.E.S. neutralizado com cal e os frascos 4 e 5 são com o Aqualex.

Tabela 2 - Comparação dos resultados experimentais do P.E.S. neutralizado com cal e o Aqualex.

Tabela 2 - Comparação dos resultados experimentais do P.E.S. neutralizado com cal e o Aqualex.

ÁGUA BRUTA		
pH:	TURBIDEZ :	TEMPERATURA °C:
	pH de floculação	TURBIDEZ (NTU)
1	6,70	1,51
2	6,73	0,88
3	6,84	2,53
4	6,72	2,61
5	6,95	2,63

Notamos que o P.S.S. comparado com o Aqualex possui excelentes propriedades como auxiliar de floculação. Os resultados de turbidez de ambos os polímeros são muito parecidos e em alguns casos o P.S.S. apresenta melhores resultados. Talvez porque o anel benzênico sulfonado ligado à cadeia principal do P.E.S. tenha maior afinidade pelas partículas coloidais e também por ser um radical mais volumoso e funcionar como uma espécie de "rede" mais estendida que capta melhor as partículas do que o radical (CONH₂) na cadeia da poliácidoamida.

Conclusões

Concluimos que o P.E.S. apresentou bons resultados de coagulação, floculação, podendo ser futuramente, uma alternativa ecológica de reutilização de plásticos descartáveis de poliestireno.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao DMAE; a Fapemig - convênio CEX/803/98.

Referências Bibliográficas

1. W. Bajdur; J. Pajaczkowska; B. Makarucha; A. Sulkowska; W.W. Sulkowski, European Polymer Journal 2002, 38,299-304.
2. <http://www.kurita.com.br>
3. R.M.N.Assunção in Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros/IX International Macromolecular Colloquium, Gramado, 2001, Vol. 1, 1857.
4. J. T. A. Miguel; *Controle Químico de Qualidade*, editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro-RJ, 1982, pág. 71.