



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

Marcio Cardoso

**EFEITO DO TIPO DE COAGULANTE NA PRODUÇÃO DE
LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Dissertação de Mestrado

FLORIANÓPOLIS

2003

MARCIO CARDOSO

**EFEITO DO TIPO DE COAGULANTE NA PRODUÇÃO
DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof^o. Maurício Luiz Sens, Dr.

FLORIANÓPOLIS

2003

MARCIO CARDOSO

**EFEITO DO TIPO DE COAGULANTE NA PRODUÇÃO DE
LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental** na Área de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

Florianópolis, abril de 2002.

Prof^o. Maurício Luiz Sens, Dr.
Orientador

Prof^o. Antonio Edésio Jungles, Dr.

Prof^o. Flavio Rubens Lapolli, Dr.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por permitir que pudesse vir a trabalhar com algo tão maravilhoso que é a água.

A minha esposa Denise, pelo carinho, compreensão, amor e ajuda mesmo quando estava distante em meus estudos.

Aos meus filhos Cintia e Diego, pelo amor e paciência dispensada.

Ao Professor Dr. Maurício Luiz Sens pela orientação neste trabalho.

Ao Professor Dr. Flávio Rubens Lapolli, pela ajuda e compreensão, sem estes dois queridos mestres não terminaríamos este trabalho.

Aos meus colegas, Jairo Ambrosine e Roberto Fasanaro pela ajuda e dedicação.

Aos colegas de trabalho, Orlando, Valmir, André, Nestor, Murilo e Inara, da Estação de Tratamento de Água, do SAMAE de Brusque, pela magnífica ajuda e compreensão.

Ao diretor do SAMAE de Brusque eng^o Roberto Bolognini, por sua ajuda.

Às empresas Sulfatos Riograndense, Projesan e CO Muller pela doação dos reagentes, equipamentos e dados técnicos.

Aos colegas do LIMA (Laboratório Integrado do Meio Ambiente), pela ajuda e compreensão.

À todos, que direta ou indiretamente colaboraram para esta pesquisa

RESUMO

CARDOSO, Marcio. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água.** 2002. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Neste trabalho foram realizados estudos com objetivo de determinar a produção de lodo na sedimentação para diversos coagulantes, mantendo-se a clarificação em níveis aceitáveis, na água do Rio Itajai Mirim, em reator estático. Para a execução deste trabalho foram usados os seguintes coagulantes: Sulfato de Alumínio[Al₂(SO₄)₃], Flocculan[FeCl₃.Fe₂(SO₄)₃], Polifloc{[FeCl₃.Fe₂(SO₄)₃]_n Al₂(SO₄)₃}com variações em 7% de óxido de ferro com 2% de óxido de alumínio, 4% de óxido de ferro com 5% de óxido de alumínio e 2% de óxido de ferro com 7% de óxido de alumínio, Sulfato Ferroso, Policloreto de Alumínio, Sulfato Férrico e Polieletrólito Catiônico Médio. Após a realização dos estudos constatou-se que os coagulantes inorgânicos, Sulfato Férrico, Cloreto Férrico e Policloreto de Alumínio, tiveram um rendimento excelente na remoção de turbidez e cor, bem como na baixa produção de lodo. O coagulante Orgânico Polieletrólito Catiônico Médio (Polímero PC 109 da Byer), com turbidez elevada (806NTU), promoveu excelente decaimento desta e, reagiu pouco com a cor, porém promoveu uma excelente sedimentação do lodo produzido.

Palavras chave: Estação de tratamento, água, produção de lodo

ABSTRACT

CARDOSO, Marcio. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água**. 2002. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

In this work studies were accomplished with objective of determining the sludge production in the sedimentation for several clotting, staying the clarification in acceptable levels. For the execution of this work the following ones were used clotting: aluminum sulfate $[Al_2(SO_4)_3]$, Flocculan $[FeCl_3.Fe_2(SO_4)_3]$, Polifloc $\{[FeCl_3.Fe_2(SO_4)_3]_n Al_2(SO_4)_3\}$ com variações in 7% of oxide of iron with 2% of oxide of aluminum, 4% of oxide of iron with 5% of oxide of aluminum and 2% of oxide of iron with 7% of oxide of aluminum, Ferrous Sulfate, Aluminum of Polichloride, Ferric Sulphate and synthetic cationic polymer medium. After the accomplishment of the studies it was verified that the inorganic coagulants, Ferric Sulfate, Ferric Chloride and aluminum of Polichloride, had an excellent revenue in the turbidity removal and color, as well as in the low sludge production. The Organic coagulant Synthetic Polimer Cationic Medium (Polymer PC 109 of Byer), with high turbidity (806NTU), it promoted excellent decline of this and, it reacted a little with the color, even so it promoted an excellent sedimentação of the produced sludge.

key words : station of treatment, water, production iodine

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Moléculas de oleato de sódio, disperso em água	20
Figura 2: Oleato de sódio disperso em água com a presença de Benzeno	20
Figura 3: Partícula coloidal e Potencial Zeta.....	25
Figura 4: Potencial Zeta segundo Johnson e Alexander.....	26
Figura 5: Fases da coagulação.....	33
Figura 6: Equipamento de ensaio de coagulação utilizado nos testes	51
Figura 7: Reservatórios utilizados para armazenagem da água	52
Figura 8: Espectrofotometro óptico Hach utilizado nas análises	55
Figura 9: Turbidímetro Hach, utilizado nas determinações de turbidez.....	56
Figura 10: Cone de Imhoff seguido da coleta da cuba para o cone	57
Figura 11: Buretas automáticas utilizadas nas titulações.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1: Dosagens do coagulante sulfato de alumínio e alcalinizante, comparando com as características primárias com uma turbidez de 31,6 NTU e cor de 155 UC, remanescentes da água em estudo61
- Gráfico 2: Comparativo entre as características primárias da água bruta com uma turbidez de 31,6 NTU e cor de 155 UC , e seus remanescentes, com as dosagens do coagulante PAC e corretores de pH.....62
- Gráfico 3: Comparativo entre as dosagens do coagulante sulfato férrico, e as características constantes da legenda, com a turbidez primária 31,6 NTU e cor de 155 UC.....64
- Gráfico 4: Comparativo das características da água bruta, e as remanescentes, com o coagulante cloreto férrico.65
- Gráfico 5: Comparando as dosagens de polifloc 2% Fe₂O₃ com 7% Al₂O₃ e corretores de pH, com as características primárias e remanescentes da água.66
- Gráfico 6: Comparativo das dosagens de polifloc 4% Fe₂O₃ com 5% Al₂O₃, e as melhores dosagens dos reguladores de pH, com as características primárias e as remanescente.67
- Gráfico 7: Comparativo das dosagens de polifloc 7% Fe₂O₃ com 2% Al₂O₃, e as melhores dosagens dos reguladores de pH, com as características primárias com as remanescente.68
- Gráfico 8: Dosagens do coagulante floculan, acidulante e alcalinizante, comparando as características primárias da água com seus respectivos remanescentes.69

Gráfico 9: Dosagens do coagulante sulfato ferroso, acidulante e alcalinizante, comparando as características primárias da água com as remanescente.	70
Gráfico 10: Dosagens do coagulante polieletrólito catiônico médio, comparando com as características primárias e remanescentes da água em estudo.	71
Gráfico 11: Gráfico comparativo dos vários coagulantes com a característica da água bruta, e a remanescente ou residual, como: cor, turbidez, pH antes e após a coagulação, condutividade, sólidos totais dissolvidos, sólidos sedimentáveis, ferro e Alumínio	73
Gráfico 12: Comparativo entre as dosagens de sulfato de alumínio, com as características primárias e remanescentes.	75
Gráfico 13: Demonstrativo das dosagens do coagulante policloreto de alumínio e as características primárias e remanescente da água bruta.	76
Gráfico 14: Aplicação de sulfato férrico, e sua ação nas características primárias e remanescentes da água.	77
Gráfico 15: Comparativo das dosagens do coagulante cloreto férrico, com as características primárias e residuais.....	78
Gráfico 16: A eficiência do coagulante Polifloc 2% Fe ₂ O ₃ + 7% Al ₂ O ₃ , com as características primárias e residuais, da água em estudo	
Gráfico 17: A eficiência do coagulante Polifloc 4% Fe ₂ O ₃ + 5% Al ₂ O ₃ , com as características primárias e residuais, da água em estudo	80
Gráfico 18: Aa eficiência do coagulante Polifloc 7% Fe ₂ O ₃ + 2% Al ₂ O ₃ , com as características primárias e residuais da água em estudo	81
Gráfico 19: mostrando as dosagens do coagulante flocculan e as dosagens de alcali, para obtenção da dosagem ótima, e mostra as características primárias e remanescentes da água	82
Gráfico 20: Dosagens do coagulante sulfato ferroso, comparando com as características primárias e remanescente da água.....	83
Gráfico 21: A dosagem do coagulante polieletrólito catiônico médio, comparando com as características primárias e remanescentes da água.....	84
Gráfico 22: Resultados obtidos a partir de uma turbidez de 246 NTU e uma cor de 940 UC da água bruta do Rio Itajaí – Mirim, com dez coagulantes, comparando os parâmetros primários	

<p>e remanescente, como; turbidez, cor, residual de ferro total, alumínio residual, sólidos sedimentáveis, sólidos totais dissolvidos e condutividade</p>	86
Gráfico 23: Dosagens do coagulante sulfato de alumínio, comparando com as características primárias e remanescentes, da água	88
Gráfico 24: Desempenho do policloreto de alumínio com as características primárias da água em estudo, comparando com as remanescentes...	89
Gráfico 25: Dosagens de acidulante e do coagulante sulfato férrico, comparando com as características primárias e remanescente	90
Gráfico 26: Dosagens de alcalinizante, e do coagulante cloreto férrico, comparando com as características primárias e remanescentes da água	91
Gráfico 27: Dosagens do coagulante polifloc com 2% em Fe_2O_3 e com 7% em Al_2O_3 , comparando com as características primárias e remanescente da água.....	92
Gráfico 28: Dosagens do coagulante Polifloc 4 % de óxido de ferro e 5% de óxido de alumínio, e comparando as características primárias com as remanescentes da água	93
Gráfico 29: Comparativo da dosagem do coagulante Polifloc 7% de óxido de ferro e 2% de óxido de alumínio, e as características primárias e remanescente da água	94
Gráfico 30: Dosagens de acidulante e do coagulante flocculan comparando as características iniciais e remanescentes da água.....	95
Gráfico 31: Dosagens do coagulante sulfato ferroso, comparando as características primárias com as remanescentes.....	96
Gráfico 32: Demonstrativo das dosagens do coagulante polieletrólito catiônico médio, comparando com as características primárias e remanescentes da água	97
Gráfico 33: Resultados obtidos a partir de uma turbidez de 806 NTU e uma cor de 2172 u.C. da água bruta do Rio Itajaí – Mirim, com dez coagulantes, comparando os parâmetros primários e remanescente, como; turbidez, cor, residual de ferro total, alumínio residual, sólidos sedimentáveis, sólidos totais dissolvidos e condutividade	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Composição média de algumas fontes de amido.....	42
Quadro 2: Características da água bruta a ser testada.....	60
Quadro 3 : Características da água	74
Quadro 4: Características primárias da água a ser ensaiada.	87
Quadro 5: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho	101
Quadro 6: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho	102
Quadro 7: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho	103
Quadro 8: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho	104
Quadro 9: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho	105

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE GRÁFICOS	7
LISTA DE QUADROS	10
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização	15
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Breve histórico	18
2.2 Colóides	19
2.2.1 Colóides hidrófilos	21
2.2.2 Colóides hidrófobos	21
2.3 Características dos Colóides	21
2.3.1 Movimento Browniano.....	21
2.3.2 Efeito Tyndal	22
2.3.3 Adsorção superficial.....	22
2.3.3 Adsorção superficial.....	22
2.3.4 Propriedades eletrocinéticas.....	22
2.4 Origem das cargas nas partículas coloidais e nas moléculas de substâncias húmicas	22
2.4.1 As formas de estabilidade das partículas e moléculas.....	22
2.4.2 Potencial Zeta	25
2.5 Cinética da coagulação	28
2.5.1 Taxa de coagulação rápida.....	29
2.5.2 Taxa de coagulação lenta	30

2.5.3 Estrutura do agregado	32
2.6 Fases da coagulação	33
2.7 Coagulação com compostos de alumínio	34
2.7.1 A química da coagulação com sulfato de alumínio	36
2.7.2 Reação do sulfato de alumínio com a alcalinidade natural	37
2.7.3 Sulfato de alumínio com cal (Hidróxido de cálcio).....	37
2.7.4 Sulfato de alumínio barrilha (Carbonato de sódio)	38
2.8 Sulfato ferroso com cal (Hidróxido de cálcio)	38
2.9 Cloreto férrico com a alcalinidade natural	38
2.10 Sulfato férrico anidro com alcalinidade	38
2.11 Caparrosa clorada	38
2.12 Os Polieletrólitos na clarificação das águas	39
2.12.1 Polímero Catiônico.....	40
2.12.2 Polímero Aniônico.....	40
2.12.3 Polímero Não – Iônico	41
2.12.4 Composição média de algumas fontes de amido.....	42
2.12.5 Aplicação de polímero como auxiliar de filtração	44
2.13 Teoria e técnica da mistura rápida	44
2.13.1 Fatores que influem no processo	46
2.13.2 Método de escolha do gradiente correto	47
2.14 Floculação	47
2.14.1 Estudos e ensaios de laboratório	48
2.14.2 Tipos de floculadores	49
2.14.3 Graduação da agitação na floculação	49
2.14.4 Controle da eficiência da floculação.....	49
2.14.5 Curto-circuito.....	50
2.14.6 Verificação da eficiência da floculação através da sedimentação.....	50
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 Sistema de testes	51
3.2 Método da coleta e conservação da água para os testes	52
3.3 Ensaio de coagulação	53
3.3.1 Os procedimentos para os ensaios de coagulação.....	53
3.3.2 Reagentes utilizados nos testes de coagulação (jar – test)	54
3.3.3 Métodos analíticos utilizados	55

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES	60
4.1 Ensaio com água de turbidez 31,6 NTU e 155 UC	60
4.1.1 Testes com Sulfato de Alumínio	61
4.1.2 Testes com Policloreto de Alumínio (PAC)	62
4.1.3 Testes com Sulfato Férrico	63
4.1.4 Testes com o Cloreto Férrico.....	64
4.1.5 Testes com Polifloc 2% Fe ₂ O ₃ com 7% Al ₂ O ₃	66
4.1.6 Testes com Polifloc 4% Fe ₂ O ₃ com 5% Al ₂ O ₃	67
4.1.7 Testes com Polifloc 7% Fe ₂ O ₃ com 2% Al ₂ O ₃	68
4.1.8 Testes com Floculan [FeCl ₃ . Fe ₂ (SO ₄)]......	69
4.1.9 Testes com Sulfato ferroso Fe(SO ₄)	70
4.1.10 Testes com Polímero Catiônico Médio.....	70
4.1.11 As melhores dosagens da água em estudo, com uma Turbidez de 31,6 NTU e Cor de 155 UC.....	72
4.2 Ensaio com Água de Turbidez 246 NTU e 940 UC	74
4.2.1 Testes Usando como Coagulante o Sulfato de Alumínio	75
4.2.2 Testes com Policloreto de Alumínio (PAC)	76
4.2.3 Testes com Sulfato Férrico	77
4.2.4 Testes com Cloreto Férrico.....	78
4.2.5 Testes com Polifloc 2% Fe ₂ O ₃ + 7% Al ₂ O ₃	79
4.2.6 Testes com Polifloc 4% Fe ₂ O ₃ + 5% Al ₂ O ₃	80
4.2.7 Testes com Polifloc 7% Fe ₂ O ₃ + 2% Al ₂ O ₃	81
4.2.8 Teste com Coagulante Floculan	82
4.2.9 Testes com o Coagulante Sulfato Ferroso.....	83
4.2.10 Testes com Coagulante Polieletrólito Catiônico Médio	84
4.2.11 Melhores Dosagens, com Turbidez de 246 NTU e Cor de 940 UC.....	85
4.3 Ensaio com Água de Turbidez 806 NTU e 2172 UC	87
4.3.1 Teste usando o coagulante Sulfato de Alumínio.....	88
4.3.2 Ensaio com o coagulante Policloreto de alumínio	89
4.3.3 Testes com o coagulante Sulfato Férrico.....	90
4.3.4 Testes com o coagulante Cloreto Férrico	91
4.3.5 Testes com o Coagulante Polifloc 2% Fe ₂ O ₃ e 7% de Al ₂ O ₃	92
4.3.6 Teste com Polifloc Com 4% de Fe ₂ O ₃ mais 5% de Al ₂ O ₃	93
4.3.7 Ensaio Com o Coagulante Polifloc 7% Fe ₂ O ₃ mais 2% de Al ₂ O ₃	94

4.3.8 Teste com o coagulante Flocculan	95
4.3.9 Teste com o coagulante Sulfato Ferroso	96
4.3.10 Teste com o coagulante Polieletrólito Catiônico Médio	97
4.3.11 As melhores dosagens e características da água em estudo, com uma Turbidez de 806 NTU e Cor de 2172 UC.....	98
4.3.12 Quadros comparativos para cada reagente e turbidez pesquisados.....	100
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	106
5.1 Conclusões	106
5.2 Recomendações	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Podemos encontrar, uma variedade muito grande, de substâncias, espécies químicas, microorganismo, etc., em águas superficiais (rios, lagos) ou em águas subterrâneas. Muita destas impurezas podem causar a turbidez ou a cor, como também, podem ou não sedimentar. Dentre as impurezas podemos destacar, as partículas com características bem definidas denominadas colóides. Estes colóides, por possuírem carga superficial negativa, não se aproximam umas das outra, mantendo um grau de repulsão muito grande, permanecem no meio até que sejam criadas condições favoráveis para a sua remoção. A força gravitacional não terá influencia em sua suspensão ou precipitação, devido a sua enorme área superficial em relação a seu peso.

Em tratamento de água, se faz necessário a retirada destas partículas, substâncias ou espécies, para que se obtenha uma ótima qualidade da água. Para a remoção destas partículas, substâncias ou espécies são utilizados várias técnicas de tratamento de água. As técnicas de tratamento utilizadas para a remoção destas impurezas variam de acordo com o tamanho das partículas, espécies e a condição físico-química da água. Quando temos partículas suspensas de diâmetros relativamente grande, basta uma decantação seguida ou não de uma filtração, mas quando encontramos partículas muito pequenas e com carga negativa, faz-se necessário o uso de um eletrólito forte para a sua remoção. No caso de termos muitas partículas coloidais o uso de uma coagulação é de extrema necessidade.

Poderíamos definir a coagulação como a “dessestabilização das partículas coloidais suspensas, ou seja, a remoção das forças que as mantém afastadas”. Segundo Campos e Povinelli em *Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água* (1977), coagular provém do latim *coagulare*, que significa juntar.

A coagulação, efetuada por eletrólitos, e geralmente por sais de ferro e alumínio, resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva e depende da concentração do metal e do pH final da mistura; o segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água. O processo é muito rápido, variando de décimos de segundo à cerca de 100 segundos, dependendo das demais características, como pH, temperatura, turbidez, etc. Em uma estação de tratamento de água (E T A), ele é realizado, no reator de mistura rápida (DI BERNARDO, 1993).

Entre as impurezas contidas nas águas naturais encontram-se partículas em suspensão e partículas em estado coloidal. Partículas mais pesadas do que a água podem se manter suspensas nas correntes líquidas pela ação de forças relativas à turbulência decantação ou sedimentação é um processo dinâmico de separação de partículas sólidas suspensas nas águas. Essas partículas, sendo mais pesadas do que a água tenderão a cair para o fundo, com uma certa velocidade (AZEVEDO NETTO, 1976). Embora a sedimentação seja uma técnica muito antiga, pela própria condição natural do fenômeno, somente neste século é que foram registrados estudos teóricos e pesquisas acerca de sua aplicação para a clarificação de água, apesar das leis físicas, básicas, terem sido estabelecidas desde o início do século passado (DI BERNARDO, 1993).

Existem vários estudos realizados com água preparada em laboratório, como, por exemplo, o tratamento de uma água com 105 NTU de turbidez, usando Caulim para isto. Segundo os autores Ndabigengesere e Narasiah (1997), usando um coagulante a base de sementes secas de *Moringa Oleifera*, obtiveram volume de 1,5 ml por litro, e com alumém, com a mesma água obtiveram a produção de 7,6 ml/l.

Para a água em estudo, água bruta coletada do Rio Itajaí Mirim, não há dados bibliográficos disponíveis para comparações, pois não havia a preocupação

de se medir o índice de lodo formado, visto que não havia cobrança pelos instrumentos legais de fiscalização. Porém recentemente a legislação brasileira tem exigido o tratamento e disposição final controlada, do lodo produzido nas ETAs. Assim sendo se faz necessário um estudo, já na fase de coagulação e floculação, visando uma melhor compactação ou redução do volume de gerado.

O projeto de estações de tratamento tradicionalmente tem sido baseados em critérios empíricos, muitos dos quais, efetivamente, são consequência de critérios racionais aplicados a algumas instalações que deram bons resultados e, então, erroneamente tomados como critérios de projeto de uso geral. É o caso, por exemplo, do dimensionamento de decantadores, que, até recentemente, era baseado no tempo de detenção, fixado geralmente entre 2 e 4 horas (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- ❖ Buscar alternativas, quanto a produtos químicos ou eletrólitos que visam melhorar a qualidade da água e diminuir a quantidade de lodo.

1.2.2 Objetivos específicos

- ❖ tratabilidade da água do Rio Itajai mrim em Brusque, Santa Catarina por diferentes coagulantes;
- ❖ melhores dosagens nos diversos coagulantes;
- ❖ estudo de produção de lodo no tratamento por diversos coagulantes;
- ❖ necessidade ou não de alcalinizante ou acidulante para os coagulantes testados.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve histórico

Conta a história que vários eletrólitos foram utilizados, para a coagulação, onde o sucesso nem sempre foi alcançado. Foram usados, por exemplo no Egito, farinhas de favas de amendoim, na Índia, nozes moídas e, na china, o alume, sulfato duplo de alumínio e potássio, verdadeiro precursor dos modernos coagulantes minerais (PAN AMERICANA S.A. INDUSTRIAS QUÍMICAS).

O uso do sulfato de em escala industrial, ocorreu somente em 1853, por J. Simpson, na Inglaterra. Porém só em meados de 1885 surgiram as patentes de Isaiah Hyatt para a utilização desse produto nas instalações dos Departamentos de Água Potável das cidades de Somerville e Raridam, em Nova Jersey (PAN AMERICANA S.A. INDUSTRIAS QUÍMICAS).

Para que possamos ter noção de consumo de eletrólitos coagulantes, vale lembrar que no Japão, somente no ano de 1975, foram consumidos: 300000 ton de sulfato de alumínio, 20000ton de cloreto férrico, 200000 ton de policloreto de alumínio, e aproximadamente 2000ton de coagulantes orgânicos (PAN AMERICANA S.A. INDUSTRIAS QUÍMICAS).

2.2 Colóides

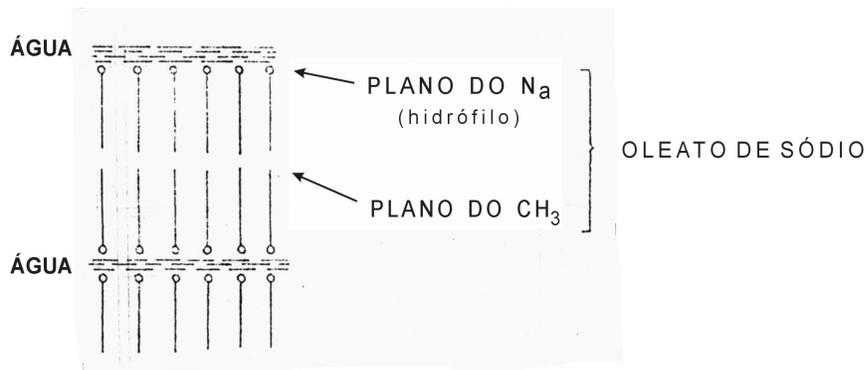
Por volta de 1860, Thomas Graham descobriu que substâncias como goma arábica, gelatina, albumina, amido, determinados microorganismos, algas, etc., difundem, em solução, muito vagarosamente. Graham descobriu, também, que

estas substâncias não dialisavam (filtração por meio de membranas filtrantes). Compreende-se hoje que essas diferenças na capacidade de atravessar poros de uma membrana e na velocidade de difusão são devidas às diferenças do tamanho das moléculas do soluto. Graham chamou estas substâncias que não dialisavam de colóides (do grego kolla). Alguns colóides são constituídos de moléculas bem definidas, de massa molecular constante e forma molecular específicas, que permitem agrupar-se num retículo cristalino (PAULING, 1969).

Do ponto de vista energético algumas partículas coloidais são termodinamicamente estáveis e denominados colóides reversíveis, incluindo moléculas de detergente ou sabão (miscela), proteínas, amidos e alguns polímeros de cadeia grande. Outros colóides, como argilas, óxidos metálicos, microrganismos, etc., estão sujeitos à coagulação. Em tratamento de água, é muito comum referir-se aos sistemas coloidais como hidrófobos ou suspensóides quando repelem a água, e hidrófilos ou emulsóides quando apresentam afinidade com a água (DI BERNARDO, 1993).

2.2.1 Colóides hidrófilos

Os colóides hidrófilos são compostos de grupos polares, solúveis em água, que atraem para próximo de si moléculas do meio dispersante, formando uma película de ação protetora, tornando o colóide bastante estável (difícil coagular). Graxas, óleos, sabões e detergentes pertencem a este grupo, quando disperso em água. Os sabões e detergentes podem ser chamados eletrólitos coloidais, tendo em vista seu comportamento, quando lançados em meio aquoso. Hess (1937), empregando difração de raios-X, descobriu que moléculas de oleato de sódio, quando dispersas em água, juntavam-se aos pares, formando agrupamentos, como mostra a figura abaixo (CAMPOS e POVINELLE, 1977).

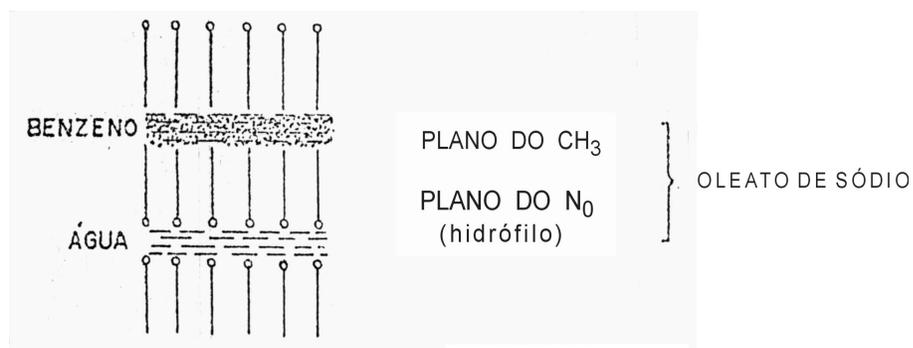


Comportamento do Oleato de Sódio, Disperso em Água

Figura 1: Moléculas de oleato de sódio, disperso em água.

Note-se que as moléculas de aleato de sódio apresentam um extremo hidrófilo e se agrupam ordenadamente.

A figura a baixo mostra o comportamento do aleato de sódio quando lançamento de pequena quantidade de benzeno, em água. É interessante observar que as moléculas do oleato se aderem ao redor de gotículas de benzeno tornando-as altamente hidrófilas (CAMPOS e POVINELLE, 1977).



Comportamento do Oleato de Sódio Disperso em Água e na Presença de Benzeno

Figura 2: Oleato de sódio disperso em água com a presença de Benzeno.

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 (CAMPOS e POVINELLE, 1977).

2.2.2 Colóides hidrófobos

Neste caso, a fase dispersa é constituída de material insolúvel em água. Esses colóides ocorrem em maior quantidade que os hidrófilos nas águas destinadas a abastecimento. Suas propriedades eletrocinéticas são bastante importantes e serão estudadas no item Potencial Zeta (CAMPOS e POVINELLE, 1977).

2.3 Características dos Colóides

As partículas coloidais apresentam dimensões desde 10^{-3} μm até 1 μm , não podendo ser observadas com o emprego de microscópio comum. Convém salientar que as dimensões não podem ser generalizadas, pois existem partículas com tamanhos maiores.

2.3.1 Movimento Browniano

Considerado como sendo o bombardeio entre as partículas dispersas, pelas moléculas da fase dispersante. Este bombardeio é constante, pois a agitação da fase dispersante sempre existe, provocando um movimento desordenado das partículas.

2.3.2 Efeito Tyndal

Dispersão dos raios de luz, pelas partículas coloidais, devido ao seu grande tamanho em relação ao comprimento de onda. Já as partículas do meio são pequenas demais para afetar sua propagação.

2.3.3 Adsorção Superficial

Divisão muito fina, de uma determinada partícula, que acompanhada de tensões, aumenta a superfície de contato, fazendo com que haja a adsorção. As partículas coloidais adsorvem cargas elétricas da fase dispersante.

2.3.4 Propriedades Eletrocinéticas.

Conseqüência do potencial eletrostático que as partículas coloidais adquirem por adsorção, de cargas elétricas da fase dispersante. Este potencial dá aos colóides a capacidade de se moverem, sob a ação de um campo elétrico (CAMPOS e POVINELLE, 1977).

2.4 Origem das cargas nas partículas coloidais e nas moléculas de substâncias húmicas

2.4.1 As formas de estabilidade das partículas e moléculas

1. Estabilização eletrostática

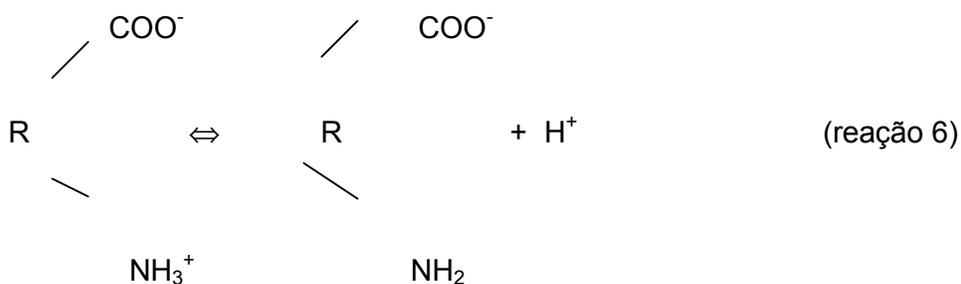
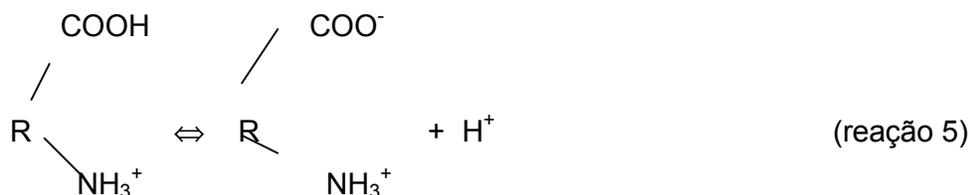
Na água, a maior parte das partículas e moléculas de substâncias húmica possui superfície carregada eletricamente, usualmente negativa e decorrente de três processos:

a) Grupos presentes na superfície sólida podem, ao reagir com a água, receber ou doar prótons.

Óxido insolúvel na superfície, como a sílica com o grupo silanol(SiOH), pode se tornar positivo ou negativo:



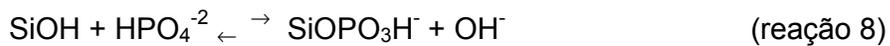
Substâncias orgânicas podem conter grupos carboxílico e amina e reagirem da seguinte forma:



Nessas reações a carga superficial da partícula sólida depende da concentração de prótons (H^+) ou do pH da água. Com o aumento do pH diminui a concentração de prótons e, o equilíbrio nas reações 1,2,3 e 4, deslocam-se para a direita, e a superfície sólida torna-se mais negativa. Para valores de pH superiores a

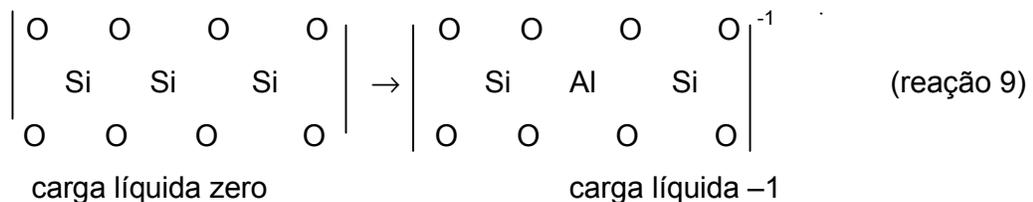
2 a sílica se torna negativa na água enquanto que os grupos carboxílicos e amina, geralmente apresentam-se negativos para valores de pH maiores que 4.

b) Grupos superficiais podem reagir com a água, com outros solutos além de prótons; considerando a sílica como um óxido representativo, tem-se:



Essas reações de formação de complexos envolvem reações químicas específicas entre grupos da superfície da partícula (grupo silanol, por exemplo) e solutos absorvíveis (íon fosfato) e dependem do pH.

c) Imperfeições na estrutura da partícula (substituição isomórfica) são responsáveis por parcela substancial da carga das argilas minerais. Tipicamente, plaquetas de sílica tetraédrica são cruzadas por plaquetas de alumina octaédrica de modo que, se um átomo de silício é substituído por um de alumínio durante a formação da plaqueta, resulta superficial negativa.



Devido aos três processos, através dos quais os colóides se apresentam com carga de superfície negativa, ocorre um balanço com íons de carga contrária presentes na água; por isso que o sistema coloidal não apresenta carga elétrica “líquida” (Di Bernardo). A figura abaixo mostra um colóide.

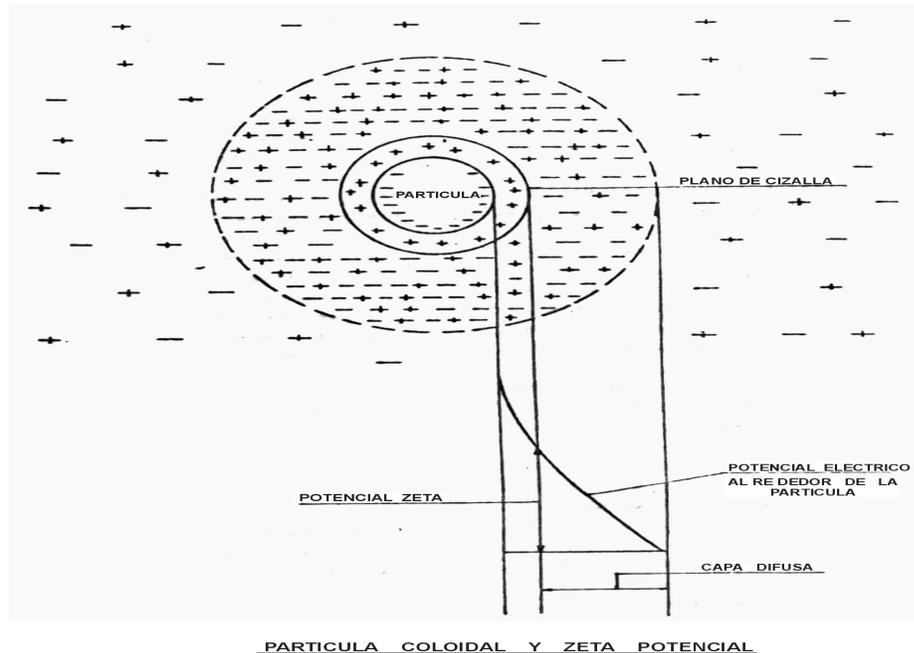


Figura 3: Partícula coloidal e Potencial Zeta

2.4.2 Potencial Zeta

Se aplicarmos a uma dispersão coloidal, uma diferença de potencial, através de eletrodos mergulhados nesta dispersão, observa-se que as partículas se movem em direção aos eletrodos. Este fenômeno chama-se Eletroforese. Em águas cujo pH se encontre entre 5 a 10, os colóides presentes, apresentam carga negativa devido a adsorção seletiva de íons eletronegativos.

Para explicar os comportamentos eletrocinéticos 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

acumulo de cargas positivas, próximo às paredes (camada compacta) e, enquanto se afasta da mesma, o número de íons de cargas opostas tende a se igualar (camada difusa).

Stern formulou a hipótese de que as camadas se assemelhariam a condensadores, onde a capacidade total dos mesmos em série seria:

$$C_t = \frac{C_m \cdot C_d}{C_m + C_d} \quad \text{onde,} \quad (1)$$

C_d = capacidade do condensador constituído pela camada difusa.

C_m = capacidade do condensador constituído pela partícula e o início da camada difusa

Stern considerou que C_m era aproximadamente constante e que C_d dependia fortemente da concentração do eletrólito, presente no líquido.

Recentemente, Johnson e Alexander 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.

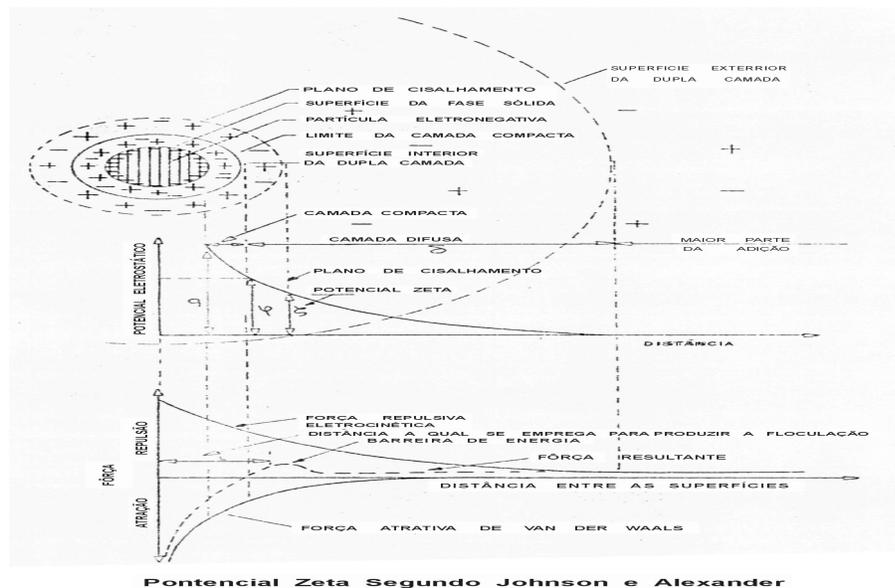


Figura 4: Potencial Zeta segundo Johnson e Alexander

Helmholts, como Stern, compara a dupla camada a um condensador de cargas iguais e opostas, distanciadas de δ .

Supondo-se q a carga das partículas e ζ o Potencial Zeta, tem-se, de acordo com a eletrostática:

$$\zeta = 4 \pi q \frac{\delta}{Dc} \quad (2)$$

Dc = constante dielétrica

O Potencial Zeta é proporcional à velocidade de eletroforese, como mostra a equação de Helmholtz-Smoluchowski:

$$\zeta = \frac{4 \pi v \eta}{H_p Dc} \quad (3)$$

η = viscosidade absoluta da água, em poises

H_p = gradiente de potencial, em V/ cm

Podemos resumir então, que o Potencial Zeta é uma medida da estabilidade de uma partícula e indica o potencial que se requer para penetrar a camada de ions que envolvem a partícula, com a finalidade de desestabiliza-la. Um Potencial Zeta alto indica que a partícula é mais estável. Do ponto de vista eletrostático, o propósito da coagulação, é reduzir o Potencial Zeta por adição de ions específicos e induzir a desestabilização das partículas. A coagulação acontece por:

- a) Diminuição do Potencial Zeta por adição de um eletrólito catiônico forte. Este reduz as forças repulsivas, permitindo que a ação das forças atrativas de Van Der Waals promovam a aglomeração. As dosagens do eletrólito depende da concentração de colóide.

- b) A adição de um eletrólito catiônico e um alcali, da qual resulta a formação de um hidróxido. As partículas se adsorvem sobre a superfície do colóide, formando uma película.
- c) Aglomeração devida a adição suficiente de um polieletrólito catiônico para abaixar o Potencial Zeta até zero. Acontecem forças de atração e o grande tamanho das cadeias poliméricas e suas pontes de união, acabam unindo os colóides entre si.
- d) Sistemas de coagulação, com polieletrólitos catiônicos e aniônicos.
- e) Aglomeração de colóides negativos com um polieletrólito aniônico ou catiônico.

2.5 Cinética da Coagulação

A taxa na qual um sol coloidal coagula é uma de suas características mais importantes, as propriedades do sol são afetadas profundamente se o mesmo é coagulado ou disperso. O conceito da taxa, W de estabilidade que mede a afetividade da barreira de potencial impedindo que as partículas coagulem :

$$W = \frac{\text{Números de colisões entre partículas}}{\text{Números de colisões resultantes em coagulação}} \quad (4)$$

Acharemos estimativas para valores de W , de 10^5 com barreiras de potencial bastantes modestas $V_{t \max} = 15 kT$ até valores de 10^{10} , não são impossíveis. A taxa de coagulação na ausência de uma barreira de potencial, R_f , só está limitado pela taxa de difusão das partículas para um ao outro; isto é o domínio rápido ou coagulação rápida. A taxa de coagulação lenta, R_s , é determinada por:

$$R_s = R_f / W \quad \text{equação 5)}$$

Buscaremos uma relação entre W e a altura e extensão da barreira de potencial.

2.5.1 Taxa de coagulação rápida

A taxa de coagulação rápida foi calculada primeiro por von Smoluchowski e o tratamento dele foi descrito por Overbeek (1952). Consideramos uma partícula central e calculamos o número de partículas que difundem para aquela partícula como resultado do movimento Browniano. O fluxo, J_f , de partículas cujos centros atravessam todo o raio r da esfera que cerca a partícula central, e eventualmente entra em contato com isto, é determinado pela lei de Fick:

$$J_f = -D \frac{dn}{dr} 4\pi r^2 \quad (6)$$

Onde n é a concentração de partícula e D é o coeficiente de difusão. Isto pode ser integrado para dar facilmente.

$$n = n_0 - J / 4 \pi D r \quad (7)$$

Onde n_0 é a concentração de partícula longe da partícula central. O número de colisões é calculado assumindo que uma partícula desaparece se alcançar um raio $r = 2a$, onde a é o raio da partícula. Se a partícula aproximando toca a partícula central que desaparece porque os dois são tratados então como uma única partícula. Assim $n = 0$ quando $r = 2a$ e assim

$$J_f = 8 \pi D a n_0. \quad (8)$$

Se a partícula central também estiver sob movimento Browniano o valor apropriado para D é $D = D_1 + D_2$ e assim, se todas as partículas são do mesmo tamanho, a taxa de coagulação inicial é:

$$- dn / dt = \frac{1}{2} \times J_f \times n_0 = 8 \pi D a n_0^2 = R_f. \quad (9)$$

O fator de $\frac{1}{2}$ deve ser introduzido para evitar de se contar as colisões duas vezes; partícula X que colide com a Y deve ser igual a Y que colide com a X. Esta relação pode ser aplicado nas fases bem antes de ser dobrado ou triplicado no cálculo. O tempo de coagulação rápida é caracterizado freqüentemente até que $t_{1/2}$,

requeridos para o número de partículas serem reduzidos à metade do valor inicial. Podemos calcular isto integrando a equação 6, tratando n_0 como variável

$$-\int_{n_0}^{N_0/2} \frac{dn}{n^2} = 8 \pi Da \int_0^{t_{1/2}} dt \quad (10)$$

$$\left| \frac{1}{n} \right|_{n_0}^{n_0/2} = 1/n_0 = 8 \pi D a t_{1/2} \quad (11)$$

$$\text{Sendo que } t_{1/2} = 1/8 \pi D a n_0 \quad (12)$$

Após uma série de substituição do D , em relações de Einstein e usando outras equações para o fator de fricção teremos:

$$T_{1/2} = 6\pi\eta a / 8\pi a k T n_0 = 3\eta / 4kT n_0 \quad (13)$$

Em água a 25°C, com n_0 em partículas por Cm^3 , isto significa que:

$t_{1/2} = 2 \times 10^{11} / n_0$ segundos. Soluções bastante concentradas, >5%, teria valores de cerca de 10^{14} Cm^{-3} e assim teria um tempo de coagulação rápido na ordem de milionésimo de segundo. O sistema habitualmente estudado tem valores em torno de segundos e minutos.

2.5.2 Taxa de coagulação lenta

Observa-se a partir do total de potencial energético de interação, não ser possível levar em conta a barreira de energia, simplesmente verificando quais partículas tem energia suficiente para se sobrepujar. É tão alto e espesso que uma partícula tem que compartilhar a barreira por uma sucessão longa de movimentos

Browniano, onde alguns dos quais empurram para cima e para baixo a barreira. A força em uma partícula devido à presença da barreira é dV/dr e sua velocidade é obtida dividindo esta força pelo fator de fricção ($B = 6\pi\eta r$). O fluxo de partículas produzido pelo campo de força é a velocidade pela concentração. Para obter o fluxo total usa-se a equação 3. O número total de partículas que golpeiam a partícula central em qualquer momento é:

$$J = \left[\frac{Dn}{4\pi r^2} - n \frac{dV_T}{2D} \right] \frac{1}{B} \quad (14)$$

Por causa do movimento mútuo das duas partículas nós temos que substituir B através de $kT / 2D$, em lugar de kT / D . A solução da equação diferencial resultante.

$$N = \frac{n_0 \exp(-V)}{8\pi D} \left[\int_r^\infty \frac{dr}{r^2} \exp(-V) \right] \quad (15)$$

Onde $V = V_T / kT$. Satisfaça a condição de $n = 0$ quando $r = \infty$, o fluxo deve ser dado por:

$$J_s = \frac{8\pi D n_0}{\int_{2a}^\infty \exp V (dr / r^2)} \quad (16)$$

Os limites estimam que J quando não há nenhum potencial entre as partículas ($V_t = 0$), com exceção de uma atração infinitamente forte quando eles na verdade estabelecem contato, é novamente determinado por:

$$J_f = 16\pi D a n_0 \quad (17)$$

A taxa de coagulação rápida e lenta são diretamente proporcionais aos fluxos J_f e J_s , a relação de estabilidade é determinada por

$$W = R_f / R_s = J_f / J_s = \int_{2a}^{\infty} \exp V dr / r^2 = 2 \int_2^{\infty} \exp (V / kT) ds / s^2 \quad (18)$$

Onde $s = r/a$. Esta integral pode ser avaliada graficamente ou numericamente, Verwey e Overbeek (1948) mostraram que W era quase completamente determinado pelo valor de V_t em seu máximo. Cálculos detalhados sugerem que $V_{\max} = 15kT$, W é da ordem 10^5 para $V_{\max} = 25kT$, W é aproximadamente 10^9 .

2.5.3 Estrutura do agregado

Foi reconhecido que quando uma solução coloidal coagula rápida, o resultado é um agregado muito solto no qual a maioria das partículas tende a unir – se a duas ou três outras partículas. A estrutura dos floculos é muito fina, e contém muito solvente agregado (normalmente água). O volume dos sedimentos é, porém, muito grande e, se o sistema se concentra, pode ser tão grande que enche o volume disponível assim o flóculo ocupa muito espaço. Por outro lado, se a solução está sofrendo coagulação lenta, os flóculos tendem a ser muito mais denso e entretanto eles podem ocupar mais lentamente espaços, eles ocupam um volume final menor.

2.6 Fases da Coagulação

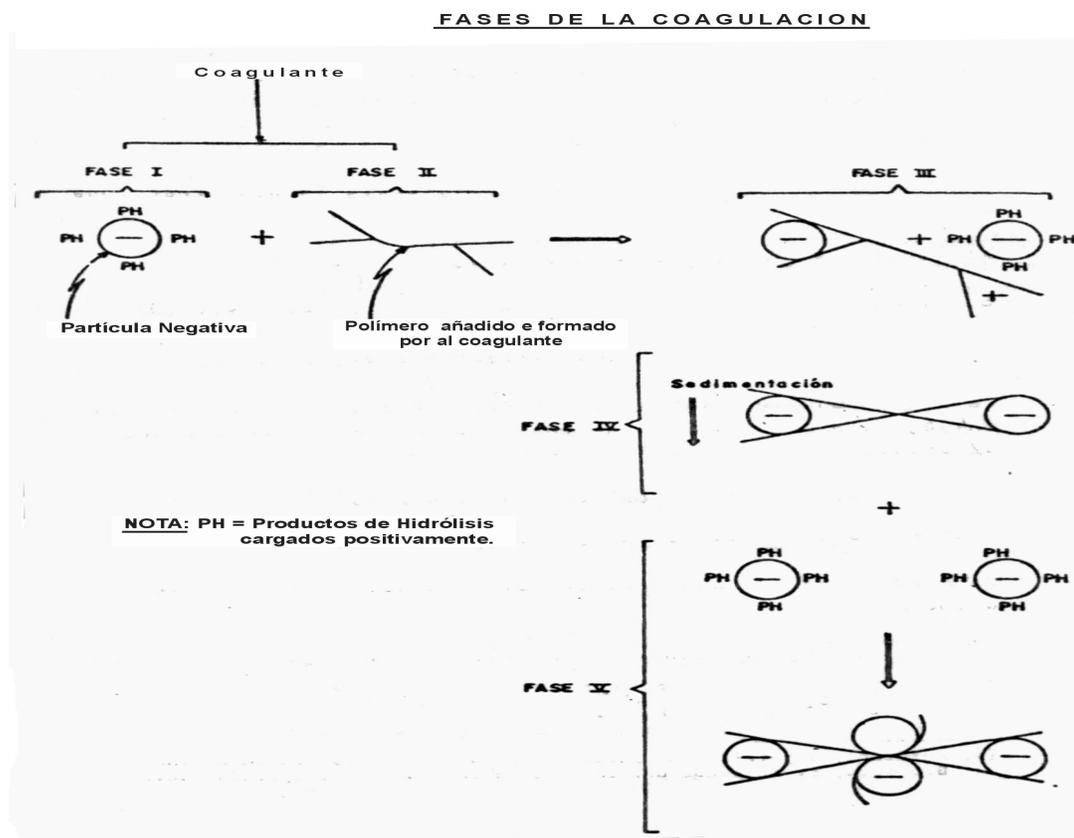


Figura 5: Fases da coagulação.

Quando se fala da carga eletrostática das partículas de uma suspensão se refere a carga média das partículas, já que cada uma possui carga distinta. Assim quando se diz que uma suspensão alcançou seu ponto isoelétrico, significa que a média das cargas é zero, pois na realidade existem uma certa quantidade de partículas com cargas positivas ou negativas.

Convém distinguir entre:

- a) Colóides que existem na suspensão e que se quer desestabilizar.
- b) Colóides que se formam ao se adicionar os coagulante.

Tendo em conta estas diferenças, pode-se considerar que a coagulação se desenvolve em cinco fases:

- I) Hidrólises dos coagulantes e desestabilização das partículas coloidais existente na suspensão.

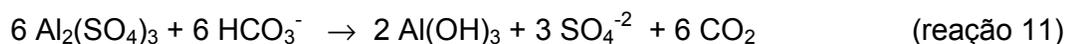
- II) Precipitação e formação de compostos químicos que se polimerizam.
- III) Adsorção das cadeias poliméricas na superfície dos colóides .
- IV) Adsorção mútua entre colóides.
- V) Ação de varredura.

Ao se adicionar um coagulante na água, este se hidrolisa e pode produzir a desestabilização das partículas, por simples adsorção específica dos produtos de hidrólise na dupla camada que rodeia os colóides de carga negativa (fase I). Os produtos da hidrólise dos coagulantes sofrem reações de polimerização e se transformam em longas cadeias com extremos ativos (fase II). Estas cadeias podem ser facilmente adsorvidas nos sítios vazios, pelos colóides da suspensão (fase III). Os extremos destas cadeias podem aderir-se a outros colóides que tenham sítios vazios, ligados por cadeias poliméricas (fase IV). Ao sedimentar estes coágulos esbarram noutras partículas e com um efeito varredura se incorporam a outros colóides.

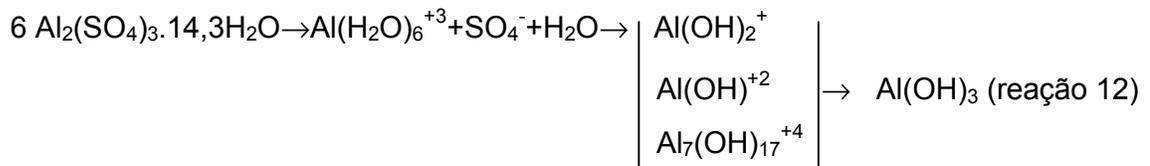
A desestabilização mais efetiva, resulta do contato de partículas coloidais com pequenos microflocos com cargas positivas de OH (Suarez- 1987).

2.7 Coagulação com Compostos de Alumínio

O composto de alumínio mais empregado é o sulfato de alumínio. ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$), que reage com a alcalinidade da água para formar um hidróxido insolúvel:



Reações subseqüentes de hidrólises dos ions de alumínio, com a água formam várias espécies de hidróxidos de cargas multivalentes.



Os óxidos de alumínio resultantes Al_2O_3 são anfóteros dependendo do pH.

$$[\text{Al}^{+3}] [\text{OH}^-] = 1,9 \times 10^{-33}$$

Em condições de alcalinidade, o óxido de alumínio se dissocia em:



Um esquema prático das reações químicas com as partículas de colóide pode representada da seguinte maneira:

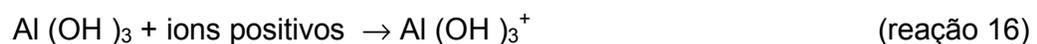
Quando adiciona-se o sulfato de alumínio na água, as moléculas se dissociam em Al^{+3} e SO_4^{-2} . O Al^{+3} pode unir-se com partículas coloidais carregadas negativamente neutralizando-as:



Ou



E



O hidróxido de alumínio assim formado tem caráter coloidal, em consequência, adsorve ions positivos da solução para formar um gel carregado positivamente. O gel de hidróxido de alumínio, positivamente carregado, tem capacidade de neutralizar a carga dos colóides negativos e ajuda na aglomeração dos colóides.



É comum um excesso de gel de hidróxido de alumínio, e sua remoção é via ions sulfatos e outros ions negativos presentes na água.



Como o íon alumínio trivalente é mais efetivo que o gel Al(OH)_3^+ na redução do Potencial Zeta dos colóides negativos, e devido ao gel ser formado em solução muito diluída, é importante que o sulfato de alumínio seja distribuído rapidamente, uniformemente e com um gradiente de velocidade adequado.

2.7.1 A química da coagulação com sulfato de alumínio

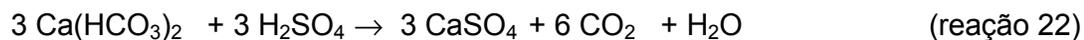
As trocas quantitativas que ocorrem com relação ao pH, alcalinidade, etc., podem ser melhor entendidas mediante certas reações. Quando o sulfato de alumínio é adicionado à água, se combina com ions hidróxidos da água para formar hidróxido de alumínio fracamente ionizados, ions hidrogênio e ions sulfatos:

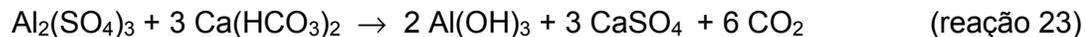


Os ions H^+ fazem o pH baixar, a ponto que não permite a formação do hidróxido de alumínio, a não ser que sejam neutralizados. O bicarbonato presente na água (alcalinidade natural) serve como agente neutralizador e trabalha assim:

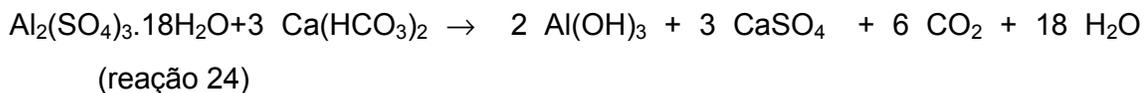


Para desenvolver os aspectos quantitativos, é melhor escrever as equações na forma molecular:





2.7.2 Reação do sulfato de alumínio com a alcalinidade natural



666,4 g	3 x 100 g	2 x 78 g	3 x 136 g	6 x 44 g
Coagulante	Alcalinidade Natural	Hidróx. de Alumínio	Dureza Permanente	Corros.

1 mg/l de Sulfato de Alumínio requer:

$$\frac{300}{666,4} = 0,45 \text{ mg/l de alcalinidade como CaCO}_3.$$

$$\frac{264}{666,4} = 0,4 \text{ mg/l de CO}_2$$

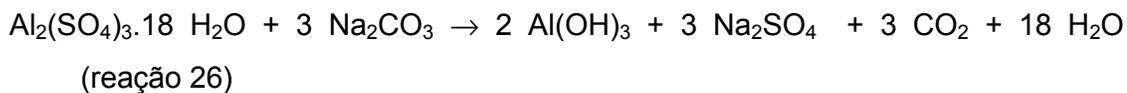
2.7.3 Sulfato de alumínio com cal (Hidróxido de cálcio)



1 mg/l de sulfato de alumínio requer:

$$\frac{168}{666,4} = 0,25 \text{ mg/l de cal}$$

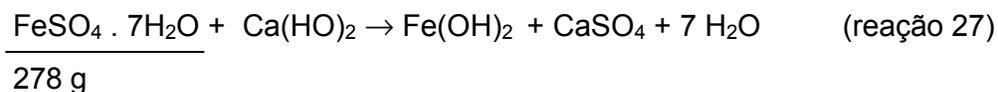
2.7.4 Sulfato de alumínio barrilha (Carbonato de sódio)



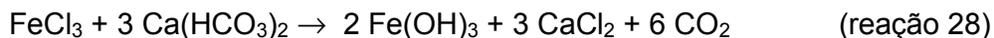
1 mg/l de sulfato de alumínio requer :

$$\frac{318}{666,4} = 0,48 \text{ mg/l de barrilha}$$

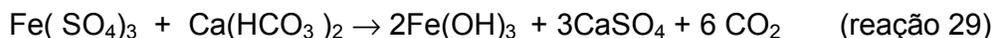
2.8 Sulfato ferroso com cal (Hidróxido de cálcio)



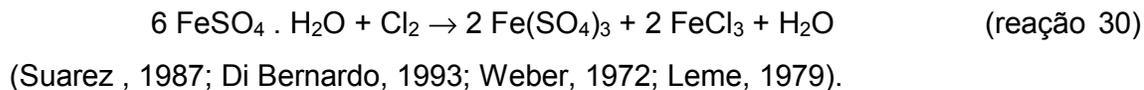
2.9 Cloreto Férrico com a Alcalinidade Natural



2.10 Sulfato Férrico Anidro com Alcalinidade



2.11 Caparrosa Clorada



2.12 Os Polieletrólitos na Clarificação das Águas

Os polieletrólitos são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos naturais ou sintéticos. São formados por monómeros que dependendo da característica podem ser catiônicos aniônicos. A teoria da floculação pode ser mais bem compreendida quando se estuda a aplicação dos polieletrólitos na clarificação da água. O estudo de sua aplicação em tratamento de água aumentará a sensibilidade do leitor a respeito da explicação de como ocorre o fenômeno da formação dos flocos, mormente quando se afirma que apenas o uso de um polieletrólito catiônico é capaz de clarificar uma água.

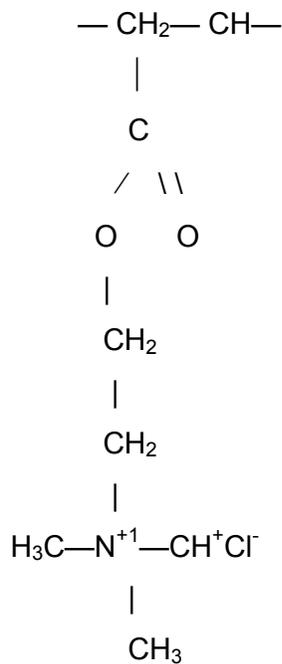
Vejamos, preliminarmente, os tipos de polímeros usados em clarificação de água, algumas de suas propriedades e suas fórmulas estruturais.

Há três tipos de polímeros que podem ser usados em tratamento de água: *catiônico*, *aniônico* e *noniônico*. O catiônico é aquele que quando dissolvido em água se ioniza, adquire carga positiva e atua como um autêntico catión. O aniônico, de maneira semelhante, adquire carga negativa e atua como anión. O noniônico é aquele que não se ioniza em água. Os polímeros noniônicos não são polieletrólitos, mas são incluídos nessa categoria devido à semelhança de suas aplicações.

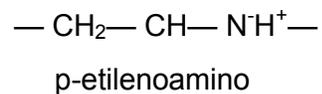
Os polieletrólitos são classificados em fortes e fracos.

Note-se que nos polímeros catiônicos a carga positiva fica ligada ao corpo do polímero, ou seja, à cadeia do mesmo, e nos aniônicos a carga negativa é a que fica ligada ao corpo do polímero (SANTOS FILHO, 1985).

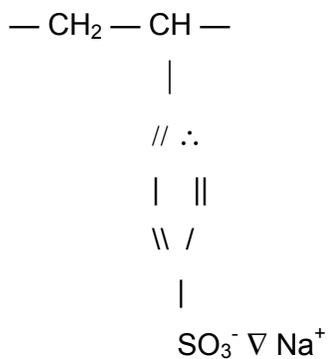
2. 12.1 Polímero Catiônico

Forte

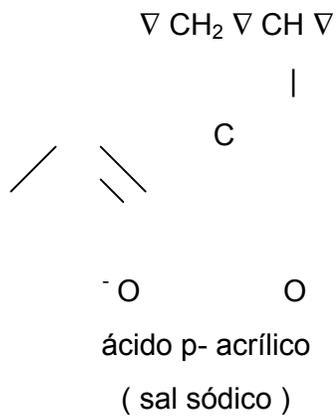
P – dimetilamino
 Etil acrilato
 (metil cloreto)
 quaternário

Fraco

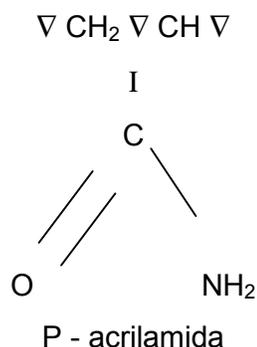
2.12.2 Polímero Aniônico

Forte

P – viniltolueno
 Ácido sulfônico
 (sal sódico)

Fraco

2.12.3 Polímero Não – Iônico



Em se tratando de floculação, a carga do polímero e o seu peso molecular são de grande importância.

O peso molecular dos polieletrólitos é geralmente muito alto e pode variar desde 5.000 até 10.000.000. Os de pesos moleculares maiores são os adequados para efetuar a floculação. 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 e o grupo funcional, quanto mais atuante, mais facilitará a adsorção das partículas ao polímero (SANTOS FILHO, 1985).

Para se sentir como as cargas elétricas dos polímeros atuam no fenômeno da coagulação pode-se fazer a seguinte experiência: adiciona-se um excesso de polímero catiônico a uma água a ser clarificada. As partículas suspensas adquirirão cargas positivas e permanecerão dispersas no seio da água. Isso se constitui o que se chama “reversão de carga” da matéria em suspensão, pois de negativas que eram tornaram-se positivas. A seguir neutraliza-se com cuidado o excesso de cargas positivas usando-se um polímero aniônico. Aqui notar-se-á a aglutinação das partículas e a conseqüente clarificação da água. (DI BERNARDO, 1993)

Muitas águas são muito bem clarificadas quando se aplica uma pequena quantidade de sulfato de alumínio e de polieletrólito catiônico. O uso puro e simples de sulfato produziria um flocos miúdo e demoraria muito a sedimentar.

Outras vezes a água exige uma super dosagem de sulfato e o uso de um polieletrólito aniônico para alcançar a melhor clarificação e uma rápida sedimentação dos flocos.

Os polieletrólitos não-iônicos são empregados muitas vezes como coadjuvante de coagulação. Os flocos pequenos de hidróxido de alumínio se juntam ao polímero, via ligação com hidrogênio, para formar flocos grandes (DI BERNARDO, 1993).

2.12.4 Composição Média de Algumas Fontes de Amido

COMPONENTE	Milho	COMPOSIÇÃO % Mandioca	Batata
Amido	55,5	64,0	20,0
Proteínas	8,2	1,1	2,1
Fibras	2,4	1,1	1,1
Cinza	1,5	0,5	0,5
Outros (*)	32,4	33,3	76,3

(*) água, ácidos orgânicos, aminoácidos, sais inorgânicos, etc.

Quadro 1: Composição média de algumas fontes de amido

Dentre as propriedades dos amidos, destacam-se aquelas relacionadas à preparação da solução. Depois de misturar-se o amido e água à temperatura de 18 e 25 °C, surge uma coloração esbranquiçada. Com o aquecimento, inicialmente ocorre um inchamento dos grãos, porém, não é sensível o aumento de viscosidade; e os grãos conservam sua aparência. Com temperatura da ordem de 65 °C, inicia-se uma segunda fase de inchamento, os grãos aumentam muitas vezes seu tamanho original e ocorre aumento significativo da viscosidade, de tal forma que os grãos perdem sua estrutura original, ao mesmo tempo que há solubilização de pequena

parte de seu conteúdo. Para temperaturas mais elevadas, em torno de 85 °C, há diminuição da viscosidade, resultando uma solução de aparência vítrea.

O inchamento, à temperatura ambiente, pode ser induzido por muitos agentes, destacando-se os produtos químicos básicos. Nas soluções que permanecem armazenadas à temperatura ambiente, ou mais baixa pode ocorrer o fenômeno de retrogradação, em que, com o passar do tempo, uma parte do amido se agrega, formando um precipitado cristalino, insolúvel. Geralmente a amilose apresenta tendência mais acentuada que a amilopectina a retrogradação.

A ação de enzimas pode fracionar ou agrupar as moléculas dos amidos, dependendo do pH, temperatura e tempo decorrido após a preparação da solução, e geralmente a solução é preparada para ser consumida no máximo em um dia, para seja evitada uma possível degradação dos amidos.

Esses polímeros naturais têm, em sua estrutura molecular, duas frações distintas: amilose (não iônica), com coloração azulada intensa e amilopectina (ligeiramente aniônica), com coloração violeta, se ambas estiverem na presença de iodo. Em resumo, a amilose apresenta-se em forma de cadeia linear constituída por unidades de glucopiranososa com uniões α -1, 4- dissacarídeos; e a de amilopectina, possui estrutura ramificada com unidades de glucopiranososa e uniões iguais às encontradas na amilose, mas como as cadeias lineares se ligam a outra unidade de glucopiranososa, forma-se as ramificações.

Não é muito bem definido, na literatura especializada, o grau de polimerização ou o número de monômeros presentes na estrutura molecular de cada fração; para o amido de batata o número de monômeros pode variar de 770 a 3700 na amilose e, de 1450 a 6000 na amilopectina, para o amido de milho, de 220 a 540 na amilose e de 1300 a 1450 na amilopectina; para o amido de mandioca, de 460 a 1050 na amilose e da ordem de 1300 na amilopectina. A separação das duas frações é conseguida centrifugando-se uma pasta de amido preparada com água a 85 °C (DI BERNARDO – 1993).

2.12.5 Aplicação de polímero como auxiliar de filtração

Os polímeros sintéticos e naturais têm sido utilizados como auxiliar de filtração, principalmente na tecnologia da filtração direta descendente. Não é usual mas eles também podem ser usados na filtração de água decantada ou na filtração direta ascendente. Em qualquer dos casos, o principal objetivo é impedir a ocorrência do transpasse, essencialmente quando são empregadas elevadas taxas de filtração ou meios filtrantes de maior granulometria. No entanto, dependendo da carga hidráulica disponível para filtração, ou da perda de carga devida à retenção de impurezas no meio filtrante, o transpasse poderá não ocorrer (DI BERNARDO 1993).

2. 13 Teoria e técnica da mistura rápida

A mistura rápida tem, por finalidade, promover a dispersão do coagulante na água. Esta dispersão deve ser a mais homogênea, ou seja, uma distribuição equânime e uniforme do coagulante à água, e a mais rápida possível. Isto constitui um sério problema no tratamento de água, visto que as quantidades de coagulantes utilizadas são muito pequenas comparadas com o volume de água a ser tratado.

A eficiência da coagulação e, portanto, das fases subseqüentes do tratamento, está relacionada com a formação dos primeiros complexos de cátions metálicos hidrolizados, cuja composição depende das condições da água no momento e no ponto em que entram em contato. Essa relação de hidrólise é muito rápida e, para haver a desestabilização dos colóides, é indispensável a dispersão de algumas gramas de coagulante sobre a massa de água em um tempo muito curto, o que implica na necessidade de aplica-lo em uma região de grande turbulência. A dispersão do coagulante é facilitada quando se dilui a solução aplicada, a um valor suficientemente baixo. A diluição pode ser feita nos próprios tanques de dissolução, quando estes têm um volume suficiente, ou aplicando-se água numa vazão conhecida na canalização que conduz a solução do coagulante, um pouco antes do ponto de aplicação.

O agente físico para a realização da coagulação é a agitação intensa denominada mistura rápida.

O conceito de gradiente de velocidade, aplicado às operações de mistura rápida, teve origem nas primeiras teorias sobre a conjunção de partículas, devidas a von Smoluchowski (1917), que demonstrou que a taxa de colisão entre partículas é o resultado do movimento do fluido e, portanto, controlável. A teoria de von Smoluchowski pode ser resumida na expressão:

$$J_{ij} = \frac{4}{3} n_i n_j (Y_{ij})^3 \frac{dv}{dy} \quad (19)$$

Onde:

J_{ij} = número de colisões por unidade de tempo entre as partículas (i) e as partículas (j);

n_i , n_j = concentração das partículas (i) e (j)

Y_{ij} = distância de colisão igual a soma dos raios das partículas;

dv / dy = gradiente de velocidade.

Como dv/dy é o gradiente de velocidade e, é expresso normalmente pela letra G e desenvolvendo as equações temos que:

$$G = \sqrt[3]{P / \mu V} \quad (20)$$

A potência P pode ser calculada em função da perda de carga em dispositivos de mistura, hidráulica de fluxo laminar ou turbulento. Em equipamentos de mistura mecânica tipo turbinas, a análise dimensional demonstra que a quantidade adimensional $P / \omega^3 L^5$, chamada número de potência depende do número de Reynolds ($\omega L^2 / \nu$) e do número de Froude ($\omega^2 L / g$), onde P é a potência dissipada na água pelo impulsor, ω é a velocidade angular do rotor, ν é o coeficiente de viscosidade cinética, g é a aceleração da gravidade e L é uma dimensão característica do agitador.

A relação entre o número de potência, o número de Reynolds e o de Froude, depende das características geométricas do impulsor e da câmara de mistura e das características do fluxo.

2.13.1 Fatores que influem no processo

A mistura rápida dos coagulantes na água é uma das fases mais importantes do tratamento, porém ainda não se chegou a conclusões definitivas a respeito do tempo de mistura e grau de agitação.

A AWWA, na sua terceira edição (1971) do manual “Water Treatment Plant Design”, sugere tempos de detenção na câmara de mistura de 10 a 30 s, com aparelhos de mistura de potência relativamente alta, de modo a promover gradientes de velocidades variáveis com o tempo de mistura como segue:

Tempo em s	G em s ⁻¹
20	1000
30	900
40	790
> 40	700

A potência aplicada à água resulta entre 1 e 2 HP por m³ da câmara (RICHTER e AZEVETO NETTO, 1991).

Em trabalhos recente, Letterman et al, concluem que a mistura rápida é função do tempo de mistura T, da dose de coagulante aplicada C e do gradiente de velocidade G, e que a operação de mistura rápida encontra um ponto ótimo quando $GTC^{1,46} = 5,9 \times 10^6$

Fazendo G=1500 e C=30 mg/l, resulta T = 27 s

Isso está mais ou menos de acordo com as recomendações anteriores, porém não deve ser considerado como regra geral, por ser uma expressão válida para condições particulares de uma dada experiência (RICHTER e AZEVETO NETTO, 1991; WEBER, 1972).

2.13.2 Método de escolha do gradiente correto

Com o equipamento Jar Test realiza-se ensaios com tempos e gradientes pré determinados, como por exemplo:

Colocam-se os frascos do equipamento com a quantidade de água de acordo com o necessário, e fixa-se um gradiente inicial, 80 s^{-1} em seguida se dá a partida no equipamento, após a adição do coagulante, retira-se a cada 10 segundos um frasco deixando em repouso por 10 minutos tomando o sua turbidez residual. Este procedimento deve ser repetido até o valor máximo de gradiente do equipamento. Normalmente usam-se gradientes variando de 57 a 250 s^{-1} , no equipamento de jar test. Os resultados, turbidez versus gradiente, devem ser plotados num gráfico e após análise para a escolha da melhor turbidez pode-se usar a expressão $GT=15.000$. (Richter e Azeveto Netto – 1991) (Santa Maria L. – 1987).

2.14 Floculação

A floculação é a aglomeração de partículas de coagulante e de matéria em suspensão na água, formando conjuntos maiores e mais densos, denominados “flocos”. Ela é efetuada por meio de um processo mecânico ou hidráulico, que produz uma agitação na água, com o objetivo de criarem gradientes de velocidade que causam turbulência capaz de provocar choques ou colisões ou encontros entre as partículas coaguladas, do coagulante escolhido, e as existentes em suspensão e no estado coloidal na água. Estes gradientes, que produzem, como sabemos, tensão cisalhante nos flocos existentes, são limitados para que não ultrapassem a capacidade de resistência do cisalhamento destas partículas (Paes Leme – 1979).

O número de encontros por unidade de tempo e volume, entre as partículas, resulta da ação do movimento Browniano, do gradiente de velocidade e da sedimentação diferenciada, conforme equações combinadas, resultando uma equação, proposta por Friendlander (DI BERNARDO, 1993).

$$N_{ij} = K_{ij} n_i n_j$$

Os encontros permitem uma partícula mais densa e de fácil sedimentação, resultando numa melhor qualidade da água clarificada que se está tratando. A floculação, conseqüentemente, além de uma função do gradiente de velocidade criado, também função do número, tamanho e concentração das partículas (LEME, 1979).

2.14.1 Estudos e Ensaio de Laboratório

Para determinação em laboratório usa-se um equipamento denominado jar-test, onde num volume, normalmente de 2000 ml, faz-se uma coagulação e floculação. Caso o equipamento não contenha um indicador de velocidade de seu sistema de agitação, usa-se um taquímetro para a obtenção da velocidade. De posse da velocidade e através da fórmula:

$$G = \sqrt{\frac{C_d \cdot A \cdot v^3}{2\nu V}} \quad (21)$$

Para Leme, 1979; (Weber, 1972; Richter e Azeveto Netto ; 1991; Santa Maria L., 1987, pode-se construir um gráfico de velocidade versus gradiente de velocidade onde:

C_d = coeficiente de atrito

A = área das pás

ν = coeficiente de viscosidade cinemática da água

v = velocidade das pás

V = volume de água agitado pelas pás

2.14.2 Tipos de flocladores

Existem, basicamente dois tipos, ou melhor, duas espécies de flocladores; os mecânicos e os hidráulicos. Os mecânicos são constituídos por pás ou hélices que promovem a agitação, estes flocladores podem possuir em seu sistema de agitação, eixo horizontal ou vertical, conforme o escolhido pelo projetista e de acordo com a necessidade da água a ser tratada. Para evitar os curto-circuito, os flocladores mecânicos, possuem um sistema de chicana entre a entrada e a saída de água. Quanto a eficiência depende da qualidade da água a ser tratada, da disponibilidade de área para a construção e principalmente da tecnologia aplicada. Os flocladores hidráulicos, são formados por chicanas e podem assumir as formas: verticais, onde o fluxo da água é horizontal, ou seja, a água passa sempre pelas laterais; horizontais, onde o fluxo da água é vertical, ou seja, a água entra numa chicana pela extremidade superior e sai pela inferior até o final; e do tipo alabama, onde o fluxo de água é executado por um conjunto de tubos com formato de curvas, ou por um conjunto retângulos. Nestes flocladores a eficiência é determinada pela qualidade de água a ser tratada (LEME, 1979; WEBER, 1972; RICHTER e AZEVETO NETTO, 1991; Santa Maria L., 1987).

2.14.3 Graduação da agitação na floclação.

Há muito tempo que a graduação da floclação vem sendo efetuada com intensidade, na ordem decrescente. Por exemplo começa-se com um gradiente de velocidade de 90 s^{-1} , 60 e terminando com 30 s^{-1} . Tanto para flocladores mecânicos quanto para os hidráulicos, usa-se a ordem decrescente de gradiente de velocidade (LEME, 1979; WEBER, 1972; RICHTER e AZEVETO NETTO, 1991; Santa Maria L., 1987; DI BERNARDO 1993).

2.14.4 Controle da eficiência da floclação

A eficiência exerce uma grande influência na qualidade final da água a ser tratada, tanto na filtração como na decantação. Uma floclação deficiente produz uma

sedimentação deficiente, aumentando o trabalho dos filtros, diminuindo a sua carreira de filtração. Por este motivo, é de grande importância o conhecimento dos efeitos subsequentes produzidos pela floculação deficiente, bem como o das causas destas deficiências (LEME, 1979).

2.14.5 Curto-circuito

É representado pela mistura incompleta, ou caracterizado pela produção de saída parcial do escoamento afluyente sem que este tenha permanecido na câmara o tempo necessário e projetado.

Para a detecção do problema pode se usar um traçador na entrada da câmara de floculação e medir sua concentração no decorrer da etapa de floculação. O controle do curto-circuito pode ser através de deflectores ou de chicanas mais eficazes (LEME, 1979; WEBER, 1972; RICHTER e AZEVETO NETTO, 1991; Santa Maria L., 1987; DI BERNARDO 1993).

2.14.6 Verificação da eficiência da floculação através da sedimentação

A maneira mais simples de se medir a eficiência da floculação através da sedimentação, é efetuando o mapeamento de lodo no fundo do decantador, pois quando temos uma ótima eficiência a quantidade de lodo no decantador é maior, logo na entrada. Outra maneira é pela filtração, tanto na qualidade da água efluente do filtro como na sua rápida perda de carga. Muitos flocos de tamanhos pequenos passam pelo meio filtrante indo até a água de saída da E T A, ou mesmo obstruindo a passagem de água no meio filtrante causando a perda de carga (LEME, 1979).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Sistema de testes

Neste trabalho usou-se como reator estático, denominado de Jar-Test. Este equipamento é constituído por um suporte metálico, coberto com uma lamina fina de PVC branco, que abriga duas lâmpadas fluorescente. Acima deste suporte estão colocadas seis cubas em acrílico com um coletor de amostra no centro da cuba. A agitação é promovida por um conjunto de polias e correia, acionando um eixo com pás, a distribuição dos reagentes são simultâneos, através dos distribuidores superiores. Para a coleta do material de dentro das cubas adaptamos uma mini torneira, que facilitou e representou mais a realidade, não dando tempo para decantação posterior ao tempo determinado. O equipamento é da marca MILAN, microcontrolado, modelo JT 103, conforme foto abaixo.

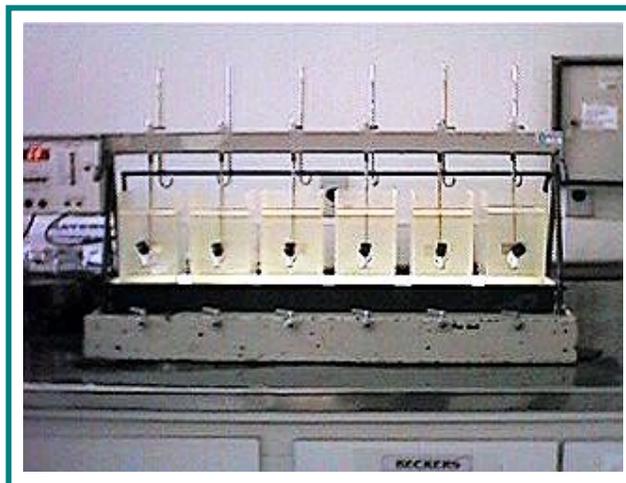


Figura 6: Equipamento de ensaio de coagulação utilizado nos testes.

3.2 Método da Coleta e Conservação da Água para os Testes

A água testada foi a bruta (sem tratamento) do Rio Itajaí Mirim, com suas características próprias, tanto físico-químicas quanto microbiológicas. Optamos em trabalhar com a água em seu estado real para que de mais opções a ETA do SAMAE de Brusque. O fato de trabalharmos com diferentes quantidades de turbidez, deve - se a oscilação turbidez deste Rio, podendo ir de 10 NTU até 10000 NTU, conforme as condições pluviométricas, optamos por trabalhar com turbidez de 31.6 NTU, 246NTU e 806 NTU. Para este experimento esperávamos a água atingir a turbidez pré-selecionada e então realizávamos a coleta e com o rápido início dos testes.

A coleta foi realizada em duas bombonas de plástico, com capacidade de 250 litros cada uma, as quais foram previamente limpas com água servida e com a própria água. Calculamos que iríamos usar aproximadamente 300 litros, para isto deixamos as duas bombonas com mais ou menos 160 litros de cada e interligadas por baixo. A amostra ficou no laboratório durante o tempo de teste à uma temperatura aproximando-se com a da água de entrada da ETA. Isto era conseguido graças a regulagem da temperatura do aparelho condicionador de ar. Promovíamos uma leve agitação em intervalos de 10 minutos e com um tempo de 5 minutos. Em seguida a amostra era coberta com pedaço de tecido cru, para não haver a possibilidade de oxidação atmosférica. Abaixo mostramos foto das bombonas fora do laboratório.



Figura 7: Reservatórios utilizados para armazenagem da água

3.3 Ensaio de Coagulação

3.3.1 Os procedimentos para os ensaios de coagulação

A escolha do tempo e gradiente, preestabelecidos aqui neste experimento obedece a um estudo anterior realizado , para a água em questão (Richter e Cardoso – 1994) .

Coloca se dois (2) litros de água ser ensaiada nas cubas, e se faz uma dosagem crescente de coagulante. Após o tempo predeterminado e os gradientes preestabelecidos, deixa se decantar por 15 minutos. Após este tempo são realizados testes de cor e turbidez. Então o jarro que apresentar a menor turbidez e cor será o padrão para dosagem de coagulante, ou seja, achamos a dosagem de coagulante.

Após a escolha da dosagem do coagulante, fixa - se esta dosagem e altera-se o pH, após o tempo e gradiente preestabelecidos, deixa-se decantar por 15 minutos efetua-se a leitura de turbidez e cor. O jarro que apresentar menor turbidez e cor será o padrão para o pH, então de pose do valor de pH, recomeça - se todo o trabalho. Fixa - se o valor de pH (achado acima), e novamente faz-se uma dosagem progressiva ou regressiva do coagulante, após tempo e gradientes predefinidos, deixa-se decantar por 15 minutos. Faz-se a leitura de turbidez e cor, sendo escolhido como o melhor jarro, aquele que obtiver menor valor.

Após cada ensaio sendo do mesmo reagente ou não as cubas e paletas dos agitadores do equipamento eram lavadas com bastante água e sabão, para que não houvesse problemas de contaminação.

3.3.2 Reagentes utilizados nos testes de coagulação (jar – test)

PRODUTO	COMPOSIÇÃO	CONCENTRAÇÃO	FUNÇÃO	CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO
Sulfato de Alumínio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$	18% em Al_2O_3	Coagulante	1 %
Floculan	$[FeCl_3 \cdot Fe_2(SO_4)_3]$	18% em Fe_2O_3	Coagulante	1%
Polifloc	$\{[FeCl_3 \cdot Fe_2(SO_4)_3]nAl_2(SO_4)_3\}$	2% Fe_2O_3 +7% Al_2O_3)	Coagulante	1%
Polifloc	$\{[FeCl_3 \cdot Fe_2(SO_4)_3]nAl_2(SO_4)_3\}$	4% Fe_2O_3 +5% Al_2O_3)	Coagulante	1%
Polifloc	$\{[FeCl_3 \cdot Fe_2(SO_4)_3]nAl_2(SO_4)_3\}$	7% Fe_2O_3 +2% Al_2O_3)	Coagulante	1%
Sulfato Ferroso	$FeSO_4$		Coagulante	1%
Policloreto de Alumínio	$[Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}]$		Coagulante	1%
Sulfato Férreo	$Fe_2(SO_4)_3$		Coagulante	1%
Cloreto Férreo	$FeCl_3$		Coagulante	1%
Carbonato de Sódio	Na_2CO_3		Alcalinizante	10%
Ácido Sulfúrico	H_2SO_4		Acidulante	10%
Polieletrólito Catiônico Médio	Polímero PC 109		Coagulante	0,1%

Tabela 1: Produtos utilizados para os ensaios de coagulação

3.3.3 Métodos Analíticos Utilizados

a) Análises via espectrofotômetro óptico

Para as análises físicos químicas, tais como, **cor aparente**, cloretos, cobre total, cromo total, ferro total, manganês, nitratos, oxigênio dissolvido e sulfatos, foram realizadas com o Espectrofotometro Hach D/R 2000 conforme foto abaixo. Os reagentes para as determinações, eram todos elaborados pela própria Hach, a metodologia também obedece as orientações da empresa, que são simplificações do Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater - APHA WPCF. Pelo motivo informado acima não estamos detalhando ou descrevendo os métodos.



Figura 8: Espectrofotometro óptico Hach utilizado nas análises.

b) Análises de sólidos totais dissolvidos e condutividade

As análises de sólidos totais dissolvidos e condutividade foram realizados com um condutivímetro, de marca ORION modelo 115, calibrado com uma solução específica do próprio fabricante do equipamento.

c) Análises de pH

Estas foram realizadas com o pH Metro Digital PG2000 da GEHAKA, com calibração semi-automática.

d) Análises de turbidez

As leituras de turbidez eram realizadas com turbidímetro HACH, modelo 2100P, conforme figura abaixo, pré-calibrado e sua aferição era realizada com padrões exclusivos da HACH.]



Figura 9: Turbidímetro Hach, utilizado nas determinações de turbidez.

e) Análises de sólidos sedimentáveis

As leituras de sólidos sedimentáveis foram realizados em cone de Ihmmoff, conforme foto abaixo ,com um período de repouso de 30 minutos. Sendo que a cada 5 minutos os cones sofriam uma inclinação de aproximadamente 90° , para evitar depósitos nas paredes dos cones.

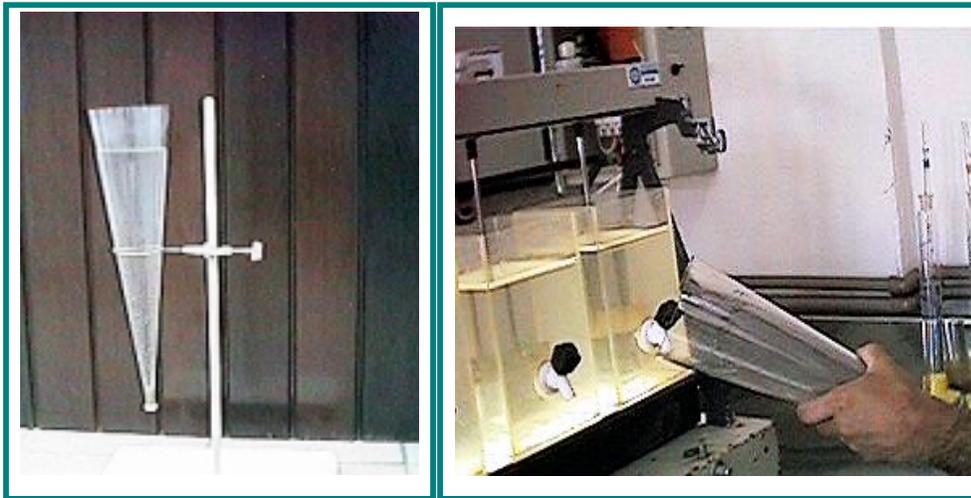


Figura 10: Cone de Imhoff seguido da coleta da cuba para o cone.

f) Análises via titulação

As análises de dureza total, alcalinidade total , oxigênio consumido em meio ácido e gás carbônico livre foram realizadas pelo método de titulação, com buretas automáticas digitais para os titulantes, marca BRAND, conforme foto abaixo. Todas as análises por titulação são descrita de uma maneira que o mais inexperiente laboratorista possa realiza – la (TAJRA,1982).



Figura 11: Buretas automáticas utilizadas nas titulações.

➤ **Determinação da dureza total**

Na determinação da dureza total o método utilizado consiste na titulação de 100 ml de amostra, usando um volume de 4 ml de sulfeto de sódio a 5 % ($\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$) como inibidor , mais 4 ml da solução que é formada por cloreto de amônia (NH_4Cl) e hidróxido de amônia (NH_4OH), junta – se duas (2) gotas do indicador eriocrome black T (Negro de Solocromo) ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{NaO}_7\text{S}$) a 0,5% em álcool a 60/80 %. Em seguida titula – se com o EDTA Na_2 , etil di amin tetra acético di sódico ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{C}_{10}\text{O}_8\text{N}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) 0,1 molar, até a viragem de cor, de azul para o vermelho vinho.

$$\text{Cálculo : dureza em CaCO}_3 = \frac{\text{MI de EDTANa}_2 \times 1000}{\text{volume da amostra}}$$

➤ **Determinação da alcalinidade total**

Na determinação da alcalinidade total, usa – se 100 ml da amostra coloca – se 3 (três) gotas de fenolftaleína e agita – se bem. Se a amostra se tornar vermelha titula – se com ácido sulfúrico H_2SO_4 , até o desaparecimento da cor, anotar o consumo de ácido. Caso não haja mudança de cor na amostra (vermelho), adiciona – se 3 gotas do indicador metilorange, a solução ira formar uma cor amarelo forte. Titula – se então com ácido sulfúrico 0, 02 N, até o aparecimento de uma cor laranja com a tendência de vermelho, este é o ponto de viragem, anotar o volume total de ácido gasto.

$$\text{Calculo: ppm de CaCO}_3 = \text{volume total de H}_2\text{SO}_4 \text{ 0,02 N x 10.}$$

➤ **Determinação do gás carbônico livre.**

Em 100 ml da amostra são adicionados 3 gotas de fenolftaleína, como indicador onde a amostra permanecera sem alteração de cor (caso , titule agora com hidróxido de sódio 0,02 N (NaOH), até o aparecimento da cor rosa forte que persista por no mínimo 5 minutos, este é o ponto de viragem.

$$\text{Calculo: ppm de CO}_2 \text{ livre} = \text{volume de NaOH 0,02 N gasto x 10.}$$

➤ **Determinação do oxigênio consumido em meio ácido.**

Em 100 ml da amostra colocar 10 ml de H_2SO_4 (ácido sulfúrico) 1: 3, e mais 10 ml de KmnO_4 (permanganato de potássio) 0,0125 N, adicionar 3 a 5 pérolas de vidro. Colocar em banho maria por 30 minutos, tomando o cuidado para que a temperatura do banho esteja próxima da 100°C , e que o volume da amostra fique submerso. Pode - se também levar a chapa elétrica ou tripé de bico de Bunsen em fervura por 15 minutos. Após o tempo determinado pela forma da qual foi usada para aquecimento, retirar do aquecimento, adicionar 10 ml de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,0125 N (oxalato de sódio). Em seguida com o desaparecimento da cor, titular com o permanganato de potássio até o aparecimento de uma cor rosa persistente.

Calculo: ppm de O. C. = ml de permanganato gasto na titulação.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS E DISCUSSÕES

Conforme citado anteriormente os experimentos foram realizados com três tipos de água diferindo na turbidez e na cor, e a cada uma destas características eram testados dez tipos de coagulantes. Cada teste era submetido a uma planilha de anotações que gerava um gráfico, com os resultados obtidos.

4.1 Ensaio com Água de Turbidez 31,6 NTU e 155 UC

DETERMINAÇÕES	UNIDADES	ÁGUA BRUTA	DETERMINAÇÕES	UNIDADES	ÁGUA BRUTA
TURBIDEZ	NTU	31,60	DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	71
COR	uC	155	FERRO TOTAL	mg/L	0,64
pH ANTES COAGUL.		7,25	MANGANÊS	mg/L	0,1
ALC. METIL ORANGE	mg/L CaCO ₃	35	NITRATOS	mg/L	1,3
ALC. FENOLFTALEINA	mg/L CaCO ₃	0	O ₂ CONS. MEIO ÁCIDO	mg/L	7,5
ALUMÍNIO RESIDUAL	mg/L	0,15	O ₂ DISSOLVIDO	mg/L	8,6
CO ₂ LIVRE	mg/L	5	SÓLIDOS SEDIMENT.	mg/L	<0,1
CLORETOS	mg/L	5,40	SÓL. TOT. DIS. (TDS)	mg/L	38,7
CONDUTIVIDADE	uS/cm	77,2	SULFATOS	mg/L	2
COBRE TOTAL	mg/L	0,06	ZINCO TOTAL	mg/L	0

Quadro 2: Características da água bruta a ser testada

4.1.1 Testes com Sulfato de Alumínio

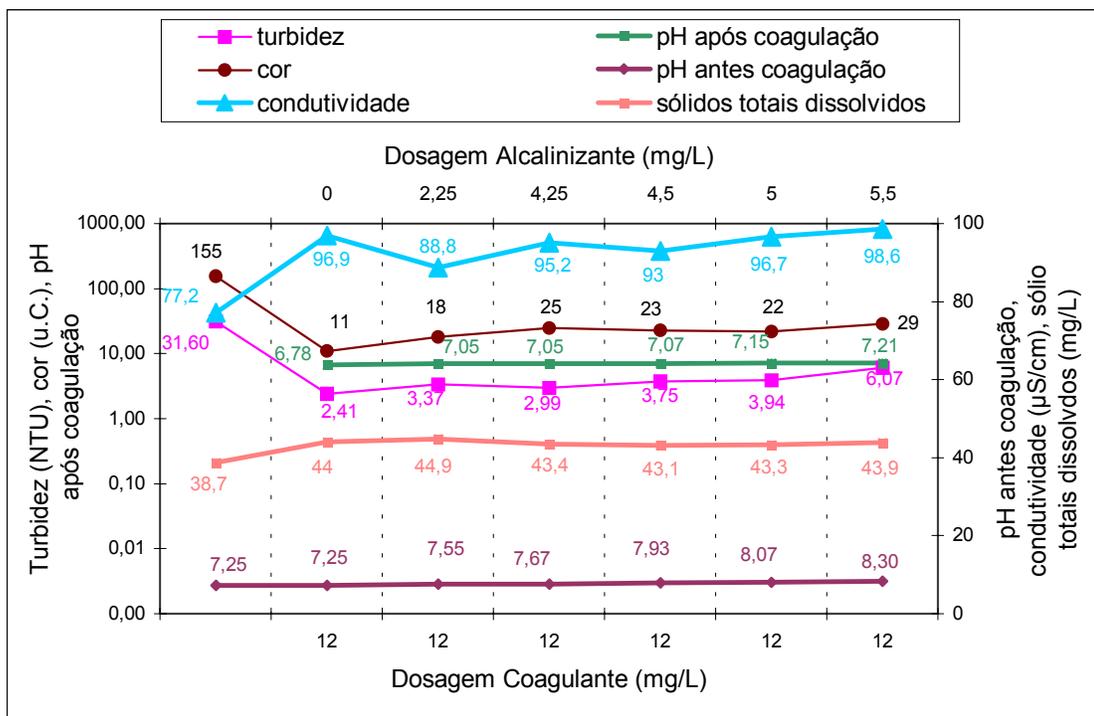


Gráfico 1: Dosagens do coagulante sulfato de alumínio e alcalinizante, comparando com as características primárias com uma turbidez de 31,6 NTU e cor de 155 UC, remanescentes da água em estudo.

Com a quantidade de 2 litros de água em cada cuba, adiciona-se o coagulante no distribuidor múltiplo (um suporte que contém 6 tubos de ensaio), sulfato de alumínio, em ordem crescente, de 8 até 18 mg/l, e sem correção de pH. O tempo de mistura rápida de 1 minuto e o gradiente de 120 s^{-1} . Na mistura lenta foi realizada com dois gradientes, um de 50 s^{-1} e outro de 35 s^{-1} , e com os tempos de floculação de 10 minutos para cada gradiente. Para a decantação o tempo de 15 minutos, por se aproximar do estipulado em estudos anteriores citados acima. Após a decantação são analisados, turbidez, cor aparente, condutividade, sólidos totais dissolvidos, sólidos sedimentáveis, ferro e alumínio remanescentes, bem como pH antes e após coagulação, inclusive para os testes que se seguirão até o final do trabalho. Neste teste determinou-se dosagem ótima de coagulante.

Com a dosagem ótima, que é de 12 mg/L, o procedimento do teste é invertido. É mantido fixo a dosagem de coagulante, e é adicionado em ordem crescente a dosagem de alcalinizante, e são obtidos os resultados conforme o Gráfico 1.

Como nos mostra o gráfico acima fica evidenciada a dosagem de sulfato de alumínio em 12 mg/L, e sendo dispensável a adição de álcali, cujas dosagens variaram de 0 até 5,5 mg.

Das demais características a que chama a atenção é quanto ao sólido sedimentável, atingindo o valor de 1 ml/L.

4.1.2 Testes com Policloreto de Alumínio (PAC)

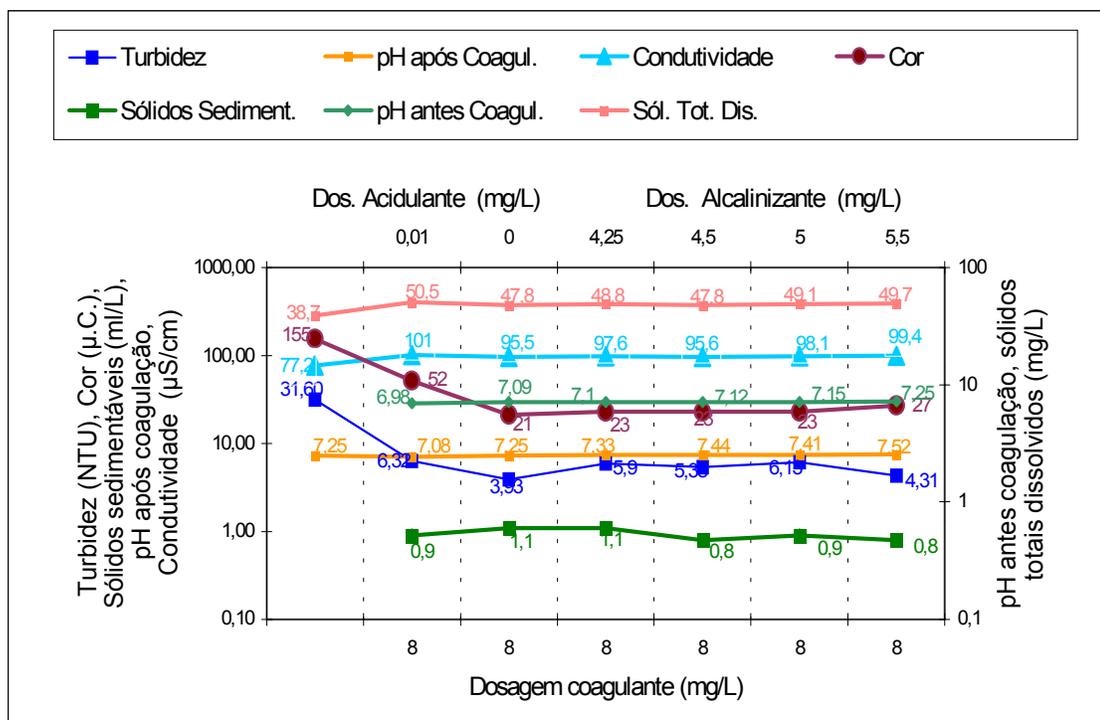


Gráfico 2: Comparativo entre as características primárias da água bruta com uma turbidez de 31,6 NTU e cor de 155 UC, e seus remanescentes, com as dosagens do coagulante PAC e corretores de pH.

Tendo a água as mesmas características que as anteriores, tiveram início os ensaios com o policloreto de alumínio, onde os gradientes de velocidade tanto

para a coagulação quanto para a floculação, bem como os tempos de coagulação floculação e decantação continuaram a serem os mesmos dos testes com o sulfato de alumínio. Os gradientes e os tempos serão os mesmos em todos os testes até o final deste trabalho.

Os ensaios iniciam na pesquisa da melhor dosagem de PAC, sem alterar a característica física ou química desta água. A dosagem é realizada em ordem crescente de coagulante com 6 mg/L indo até 16 mg/L.

Após a pesquisa da dosagem o melhor resultado de turbidez remanescente foi com a dosagem de 8mg/L. O passo seguinte foi a pesquisa do melhor pH, com a dosagem de álcali, em ordem crescente de 0 até 5,5 mg/L.

O Gráfico 2 mostra as características iniciais da água bruta e as remanescentes.

Analisando o Gráfico 6 verifica-se um decaimento de turbidez em três faixas de pH, e que a melhor turbidez, 3,93 NTU não apresentou o melhor resultado quanto aos sólidos sedimentáveis.

4.1.3 Testes com Sulfato Férrico

Para os testes com este coagulante a água e os parâmetros de procedimento para o ensaio de coagulação quanto a tempo e gradiente de velocidade, continuam iguais aos anteriores. As dosagens pesquisadas com os melhores resultados, visto que foram realizadas várias pesquisas quanto ao pH ótimo, estão plotadas no Gráfico 3.

Neste ensaio verifica-se nitidamente três pontos ótimos em relação a turbidez e sólidos sedimentáveis, sendo que a melhor turbidez 1,27 NTU apresenta um índice baixo dos sólidos sedimentáveis.

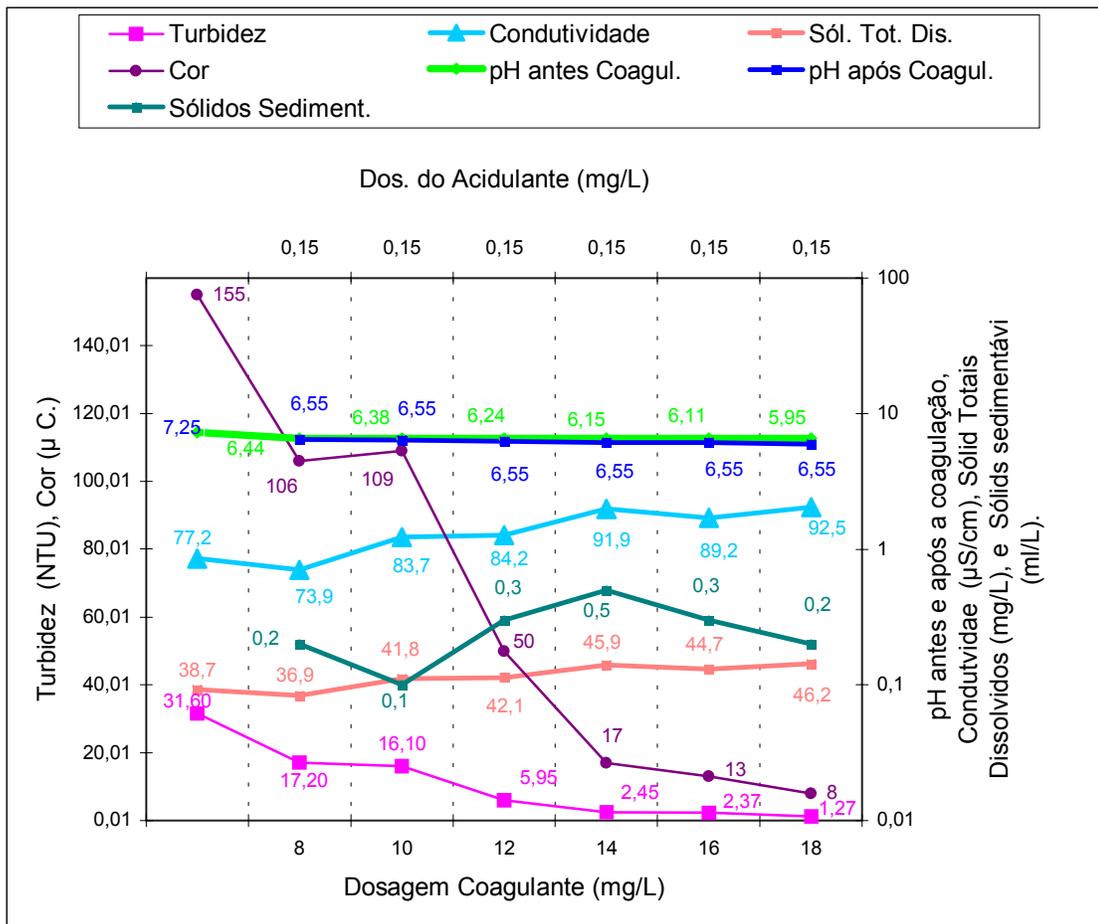


Gráfico 3: Comparativo entre as dosagens do coagulante sulfato férrico, e as características constantes da legenda, com a turbidez primária 31,6 NTU e cor de 155 UC.

4.1.4. Testes com o Cloreto Férrico

O Gráfico 4 ilustra bem o comportamento deste coagulante em relação as características primárias da água bruta e suas remanescentes.

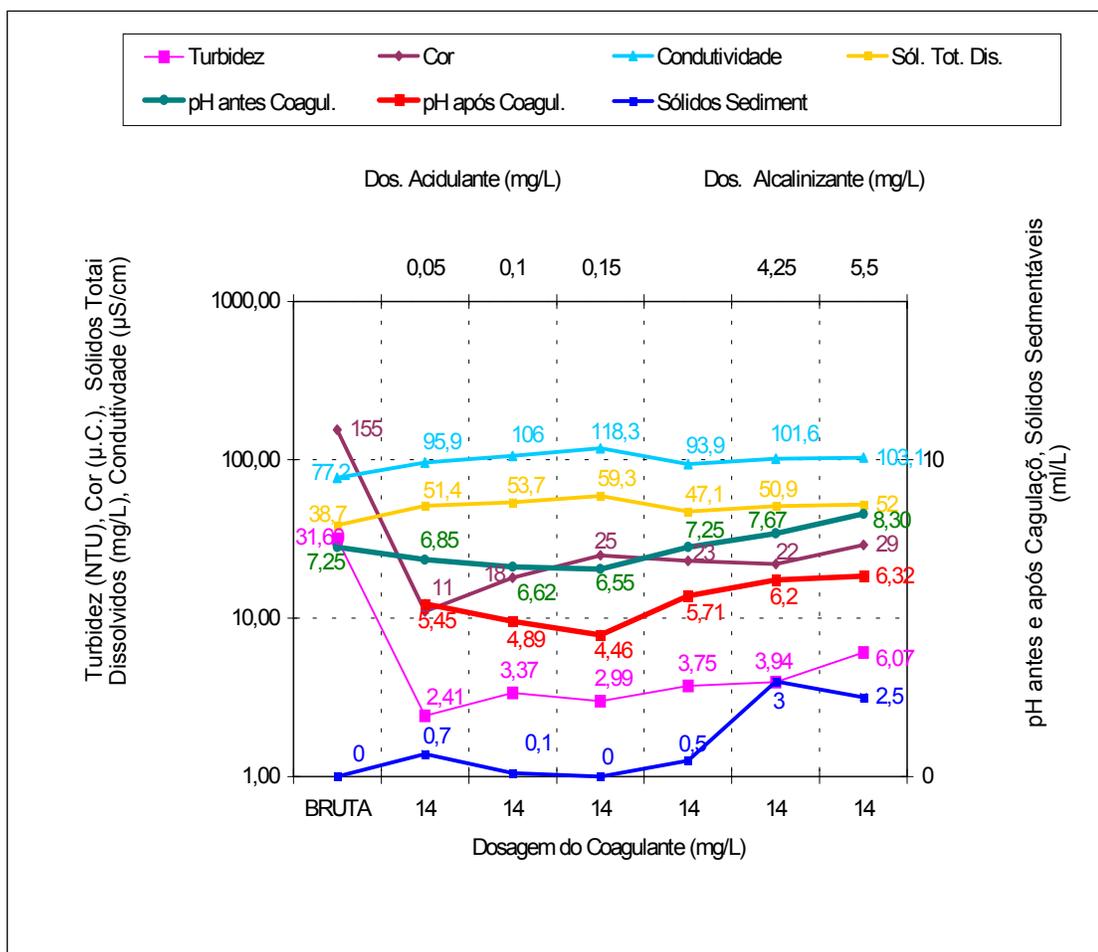


Gráfico 4: Comparativo das características da água bruta, e as remanescentes, com o coagulante cloreto férrico.

Neste gráfico é notável a capacidade, do cloreto férrico em produzir pouco lodo, e sua larga faixa de atuação quanto ao pH. Nota-se também uma remoção de cor muito boa na dosagem ótima.

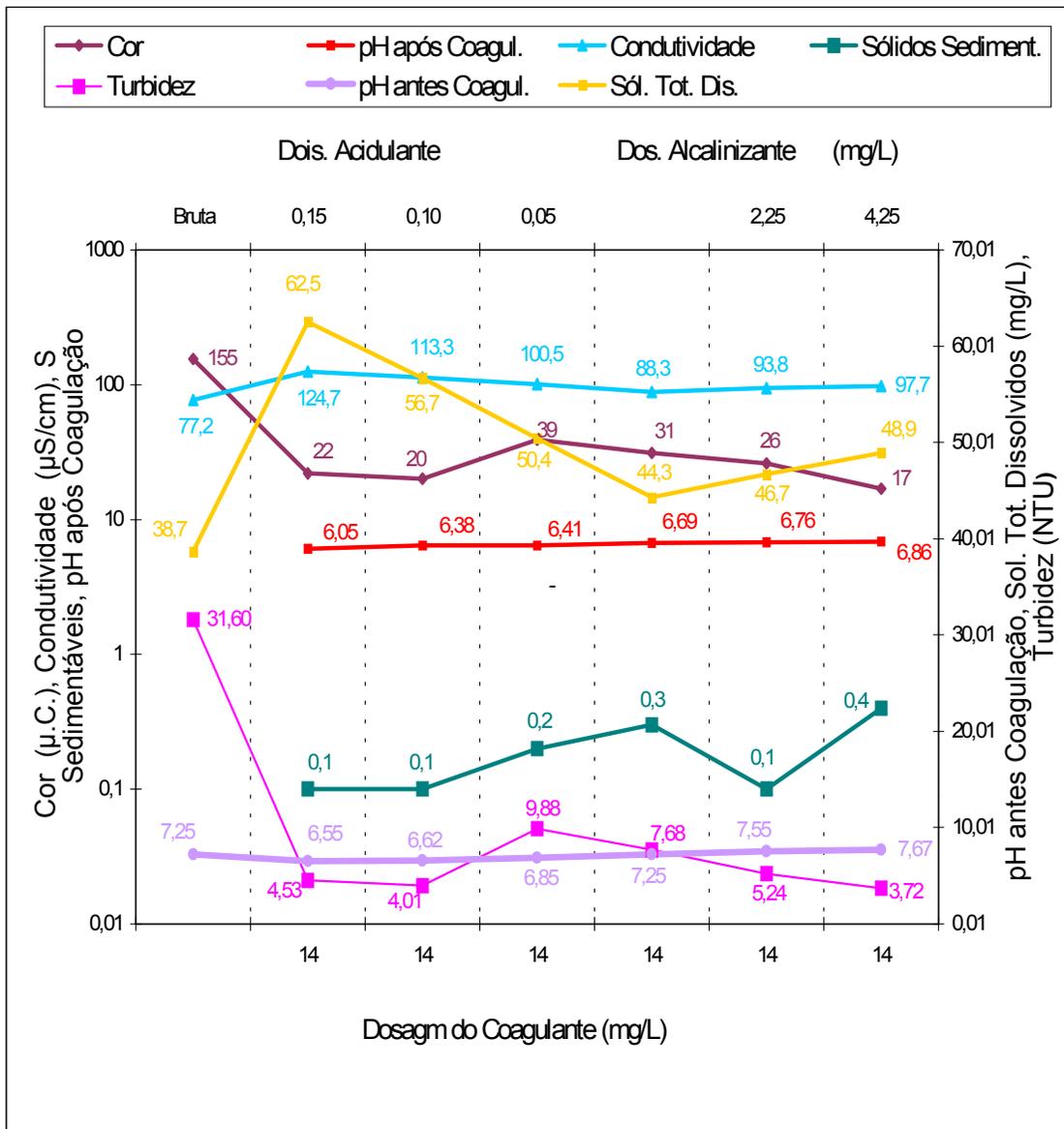
4.1.5 Testes com Polifloc 2% Fe₂O₃ com 7% Al₂O₃

Gráfico 5: Comparando as dosagens de polifloc 2% Fe₂O₃ com 7% Al₂O₃ e corretores de pH, com as características primárias e remanescentes da água.

Para este coagulante temos três faixas ideais para turbidez em relação ao pH. E quanto aos sólidos sedimentáveis, é possível verificar a tendência de formar pouco lodo em baixa turbidez. O decaimento da cor não acompanha as melhores condições das demais características.

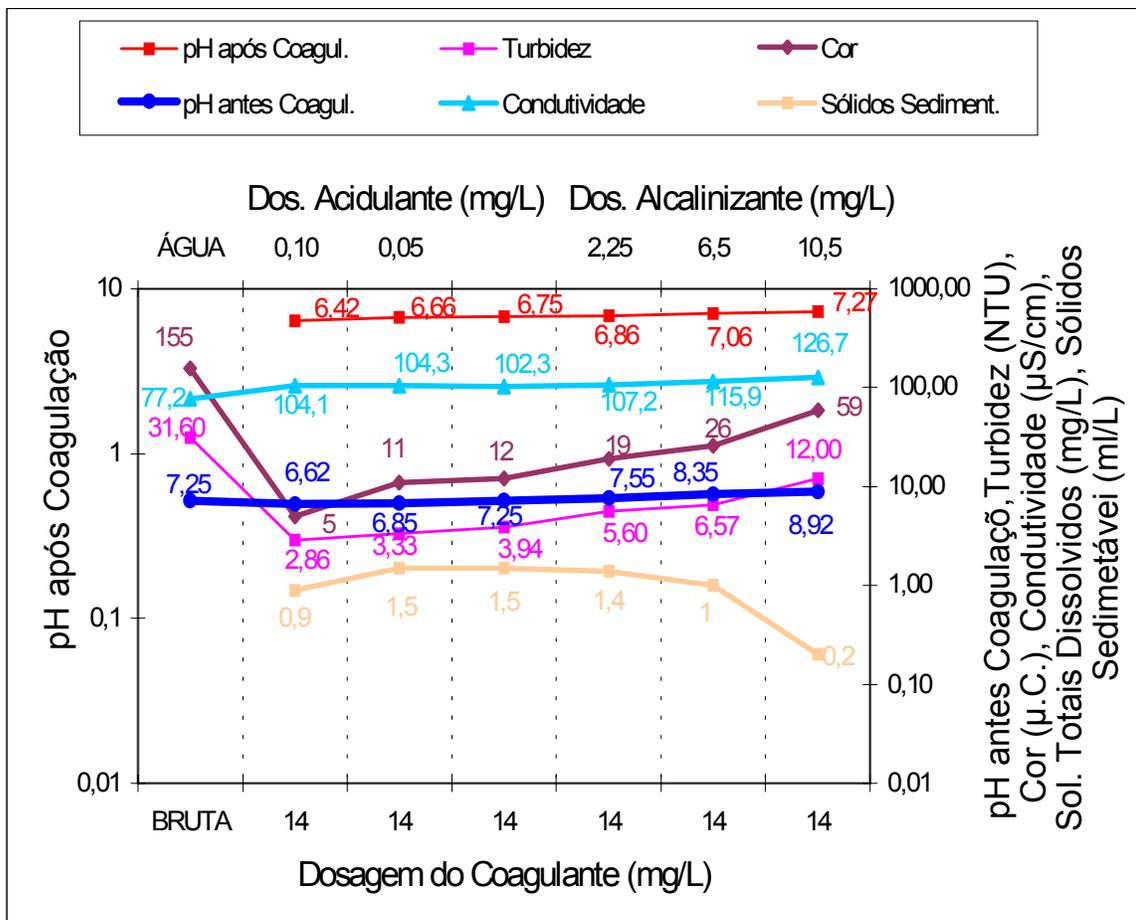
4.1.6 Testes com Polifloc 4% Fe_2O_3 com 5% Al_2O_3 

Gráfico 6: Comparativo das dosagens de polifloc 4% Fe_2O_3 com 5% Al_2O_3 , e as melhores dosagens dos reguladores de pH, com as características primárias e as remanescente.

Neste tipo de coagulante nota-se que o decaimento da cor e turbidez está em níveis bom, e que o índice de sólidos sedimentáveis também está baixo. Há a necessidade de uma diminuição do pH para que haja uma performance ótima. A cor, por se tratar de cor aparente acompanha em decaimento as demais características. A necessidade de estudo do comportamento do coagulante em função da concentração dos óxidos dos sais, é de importância fundamental.

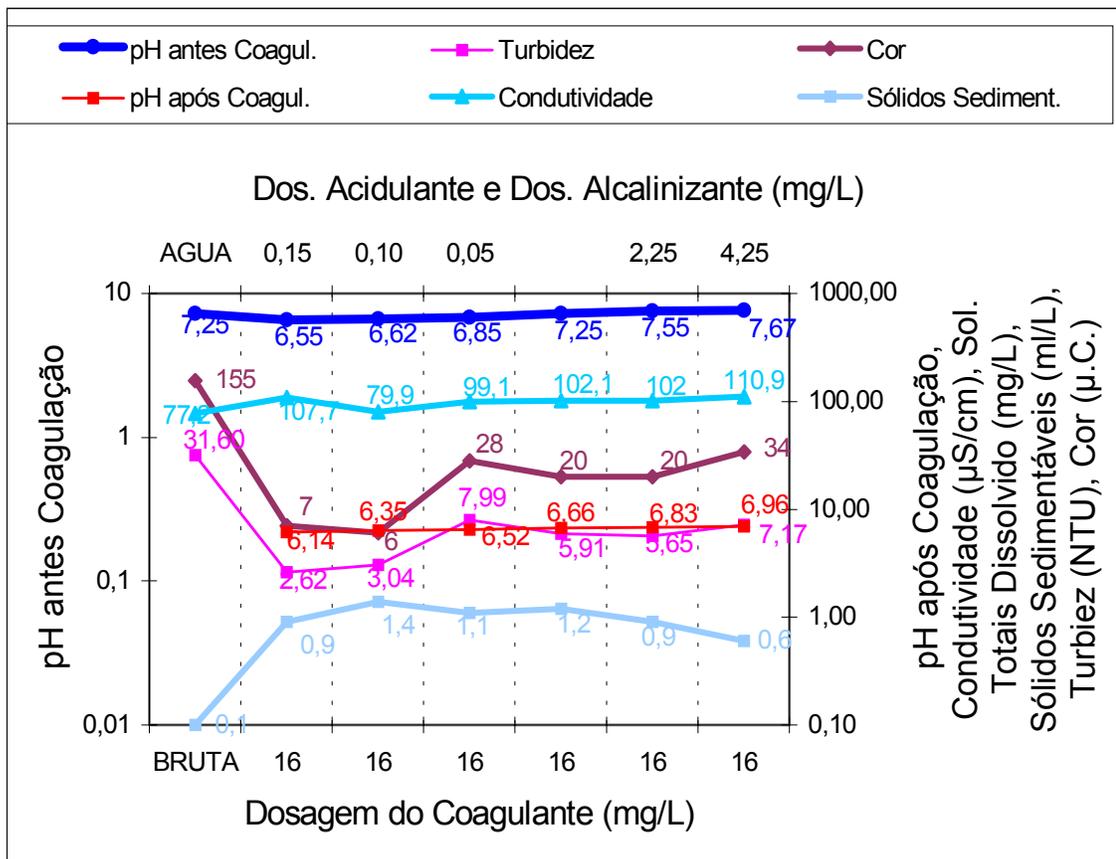
4.1.7 Testes com Polifloc 7% Fe₂O₃ com 2% Al₂O₃

Gráfico 7: Comparativo das dosagens de polifloc 7% Fe₂O₃ com 2% Al₂O₃, e as melhores dosagens dos reguladores de pH, com as características primárias com as remanescente.

A série de coagulantes com misturas de óxidos de alumínio e ferro, abre um novo horizonte no que se refere a qualidade de água decantada. Neste estudo com estas características da água bruta, percebe-se uma ligeira diferença de dosagens e de decaimento de algumas características.

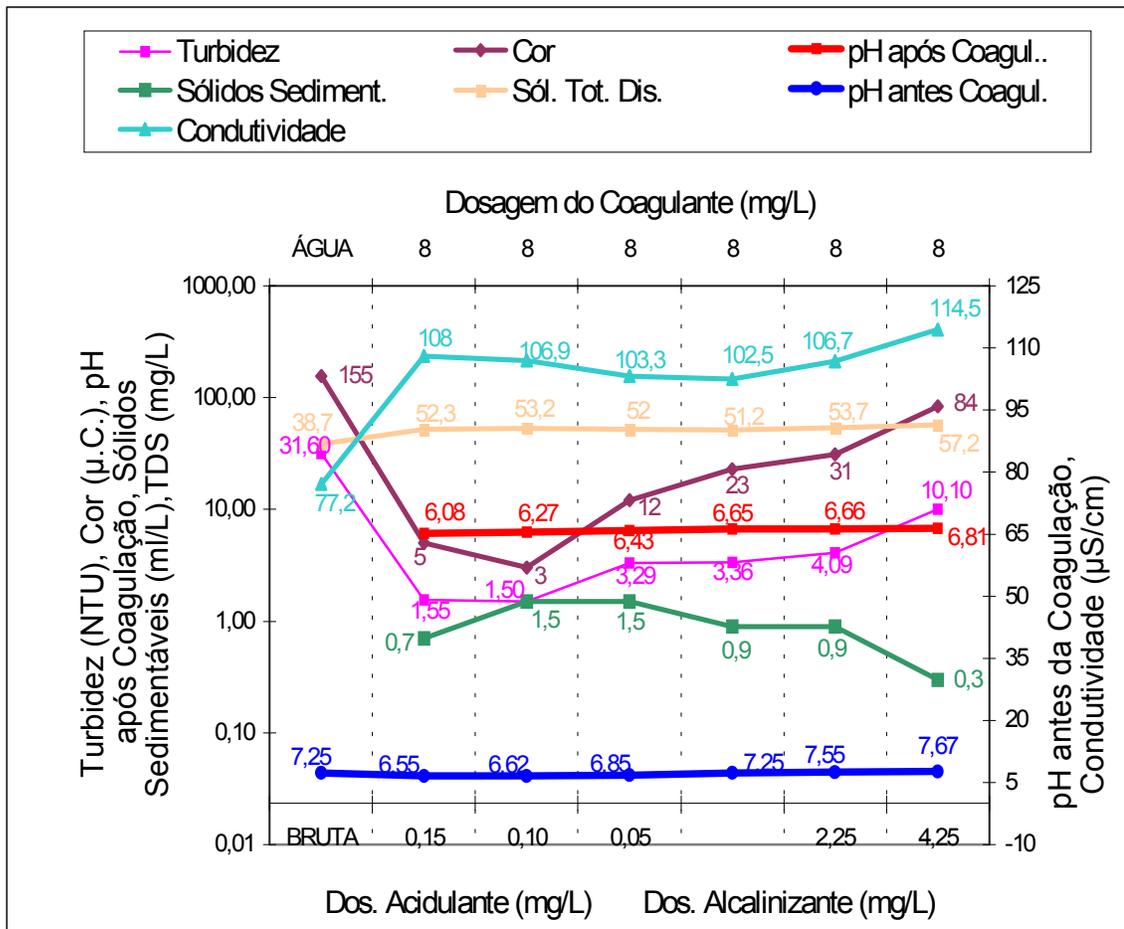
4.1.8 Testes com Flocculan [FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)$]

Gráfico 8: Dosagens do coagulante flocculan, acidulante e alcalinizante, comparando as características primárias da água com seus respectivos remanescentes.

Neste gráfico verifica-se um decaimento muito bom de cor turbidez. Também fica bem visível a necessidade de usar o pH de 6,62 para que haja um rendimento bom do coagulante em questão. O seu índice de lodo ou sólidos sedimentáveis em ml/L, par esta turbidez está em 1,5 ml/L. O decaimento do pH após aplicar o coagulante fica em pH 6,27, portanto afeta pouco o pH este coagulante.

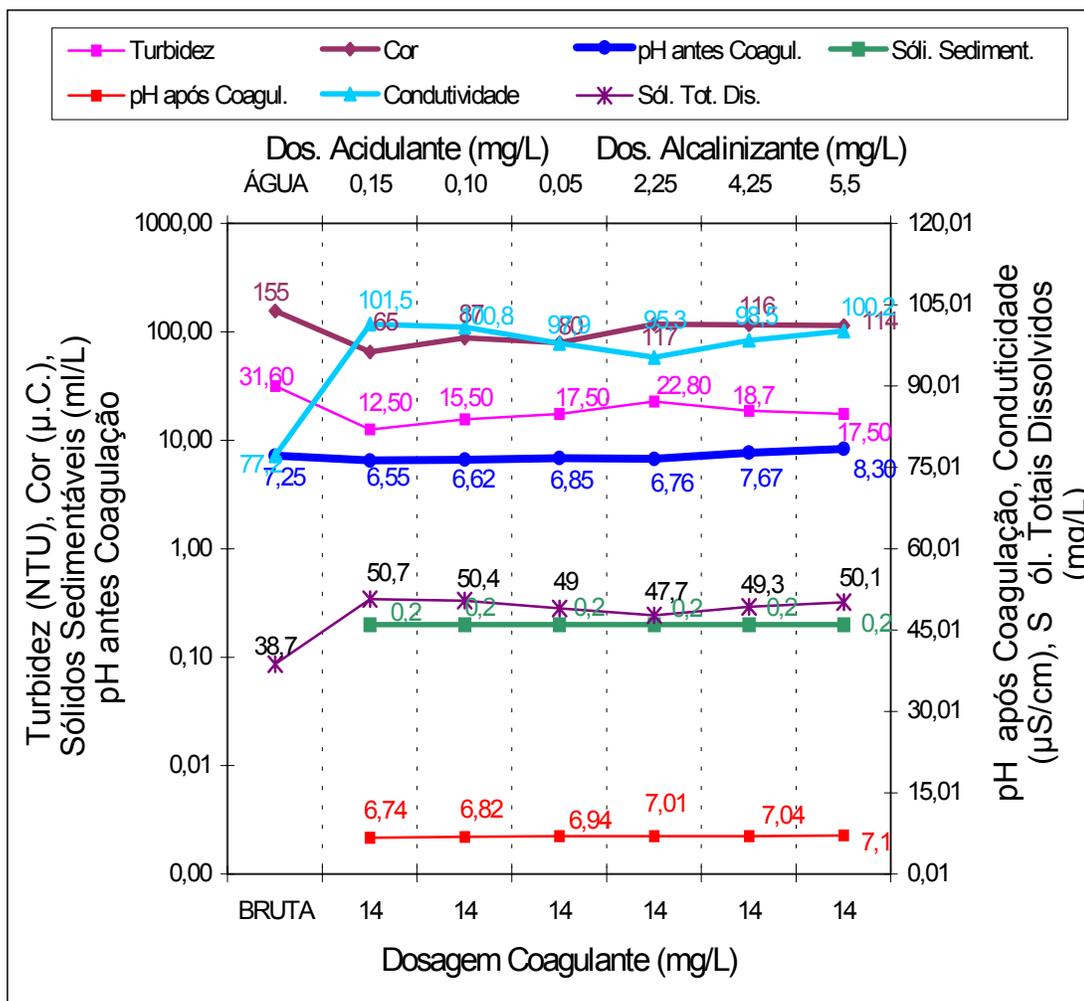
4.1.9 Testes com Sulfato ferroso Fé (SO₄)

Gráfico 9: Dosagens do coagulante sulfato ferroso, acidulante e alcalinizante, comparando as características primárias da água com as remanescente.

Neste gráfico fica evidenciado que o coagulante em questão não rendeu o suficiente, para que houvesse um decaimento de cor e turbidez satisfatório. Para a água em estudo o seu rendimento não apresentou melhora na qualidade da água.

4.1.10 Testes com Polímero Catiônico Médio

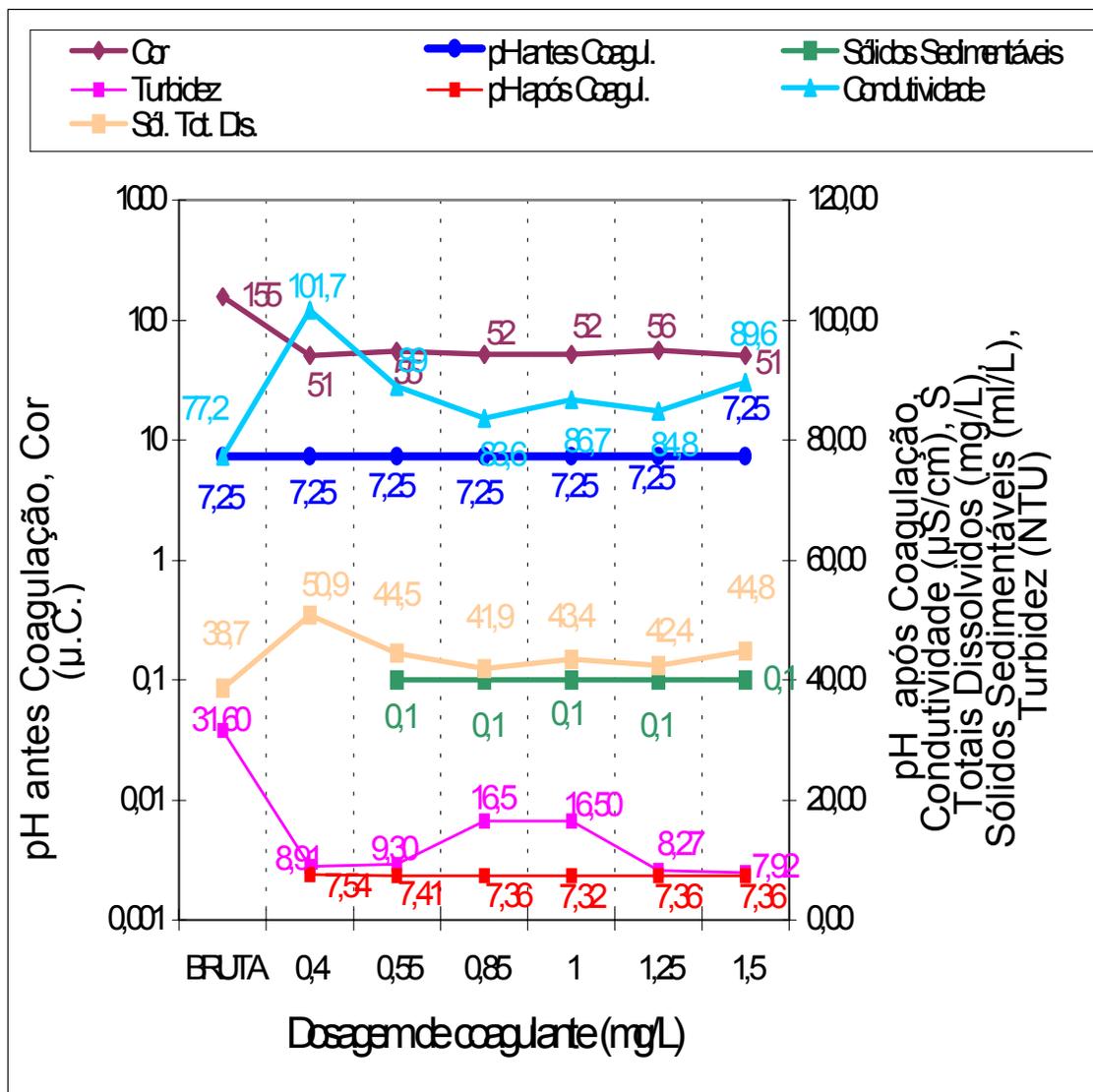


Gráfico 10: Dosagens do coagulante polieletrólito catiônico médio, comparando com as características primárias e remanescente da água em estudo.

Para esta faixa de turbidez e cor não houve um resultado satisfatório com este coagulante, para a água em estudo.

Poderíamos resumir todo o estudo acima com o gráfico que trás todos os coagulantes, suas respectivas melhores dosagens e os seus melhores rendimentos.

4.1.11 As melhores dosagens da água em estudo, com uma Turbidez de 31,6 NTU e Cor de 155 UC

No Gráfico 11 pode-se verificar as variações de dosagens para uma mesma água com características iguais.

Quanto ao pH, antes e após a coagulação há uma variação para cada coagulante, com picos muito alto que pode significar o consumo das espécies químicas presentes, ou a falta e ou excesso de cargas elétricas.

Na condutividade, acontece um fenômeno interessante, pois a mesma se mantém praticamente constante para todos os coagulantes em suas dosagens ótimas.

A cor, que é bom lembrar a aparente, percebe-se uma variação com picos elevados e preocupantes, sendo necessário um estudo mais pormenorizado.

Na turbidez a variação não é tão preocupante, pois se mantém em níveis toleráveis para os decantadores atuais.

Os sólidos totais dissolvidos aumentam em ou com todos os coagulante, porém não há picos entre os vários coagulantes.

Os sólidos sedimentáveis, que mais particularmente interessa ao trabalho pois irá determinar a quantidade de lodo no decantador, há picos, porém muito baixos, em se tratando de uma turbidez baixa.

Este gráfico é um espelho de alguns coagulantes tradicionais, e outros com tecnologia mais apurada, porém de fácil acesso e fácil aplicação.

Não foi possível plotar os residuais de ferro e de alumínio neste gráfico, que chamaremos Resumo Demonstrativo dos Coagulantes para Turbidez baixa.

A comparação é realizada sempre com as características da água bruta que se encontra indicada no início do gráfico.

O Resumo Demonstrativo dos Coagulantes só foi mostrado no final para que se tivesse uma noção das técnicas envolvidas em cada etapa.

Ao término desta etapa, e esperando que a turbidez aumentasse os reagentes empregados eram descartados na empresa de tratamento de esgoto industrial de Brusque, e seus fracos lavados secos e guardados fechados até o próximo teste. Para este e os demais testes foram gastos 18 horas de trabalho ininterruptos, para turbidez pesquisada.

GRÁFICO 11

4.2 Ensaio com Água de Turbidez 246 NTU e 940 UC

DETERMINAÇÕES DOSAGENS	UNIDADES	ÁGUA BRUTA	DETERMINAÇÕES DOSAGENS	UNIDADE S	
Turbidez	NTU	246,00	Dureza total	mg/l CaCO ₃	38
Cor	UC	940	Ferro total	mg/L	2,57
pH antes coagul.		7,29	Manganês	mg/L	0,7
Alc. metil orange	mg/L CaCO ₃	25	Nitratos	mg/L	2,1
Alumínio residual	mg/L	0	O ₂ Cons. meio ácido	mg/L	10
CO ₂ livre	mg/L	5	O ₂ dissolvido	mg/L	11
Cloretos	mg/L	19,70	Sólidos sediment.	mL/L	0,9
Condutividade	µS/cm	75,1	Sól. Tot. Dis. (TDS)	mg/L	37,1
Cobre Total	mg/L	0,14	Sulfatos	mg/L	2

Quadro 3 : Características da água

Com esta série de testes, algumas características da água bruta, como cor e turbidez houve um aumento.

Nestes ensaios serão usados os mesmos coagulante e corretores de pH, nas mesmas concentrações, porém variando as dosagem, principalmente dos coagulantes.

Não será efetuada a pesquisa de pH pois já é conhecida da outra bateria de testes.

Das análises a cor continuara sendo analisada a aparente, e as demais análises como nos testes anteriores.

4.2.1 Testes Usando como Coagulante o Sulfato de Alumínio

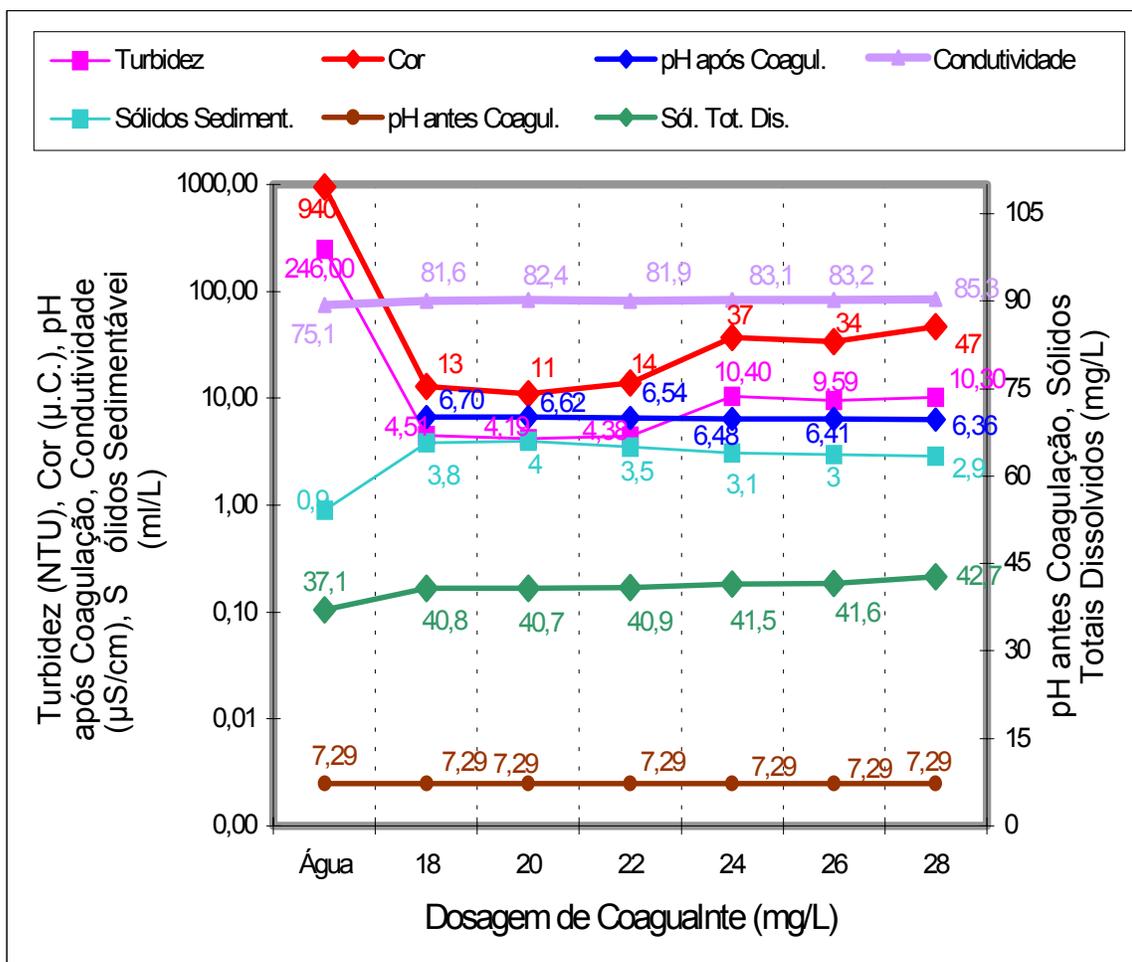


Gráfico 12: Comparativo entre as dosagens de sulfato de alumínio, com as características primárias e remanescentes.

Com o coagulante sulfato de alumínio para esta turbidez e cor encontramos uma turbidez remanescente de 4,19 NTU, na melhor dosagem.

Para a cor aparente o decaimento foi de 940 à 11 UC, quanto aos sólidos sedimentáveis, houve formação de 4 ml/L.

Os sólidos sedimentáveis na melhor dosagem, de acordo com a melhor turbidez remanescente, foi de 4 ml/L, enquanto que no teste anterior com o mesmo reagente e turbidez de 31,6 NTU houve a formação de 1 ml/L.

A dosagem ótima para este coagulante neste teste é de 20 mg/l, e para o mesmo reagente no teste anterior com uma turbidez de 31,6 NTU foi de 12 mg/L.

4.2.2 Testes com Policloreto de Alumínio (PAC)

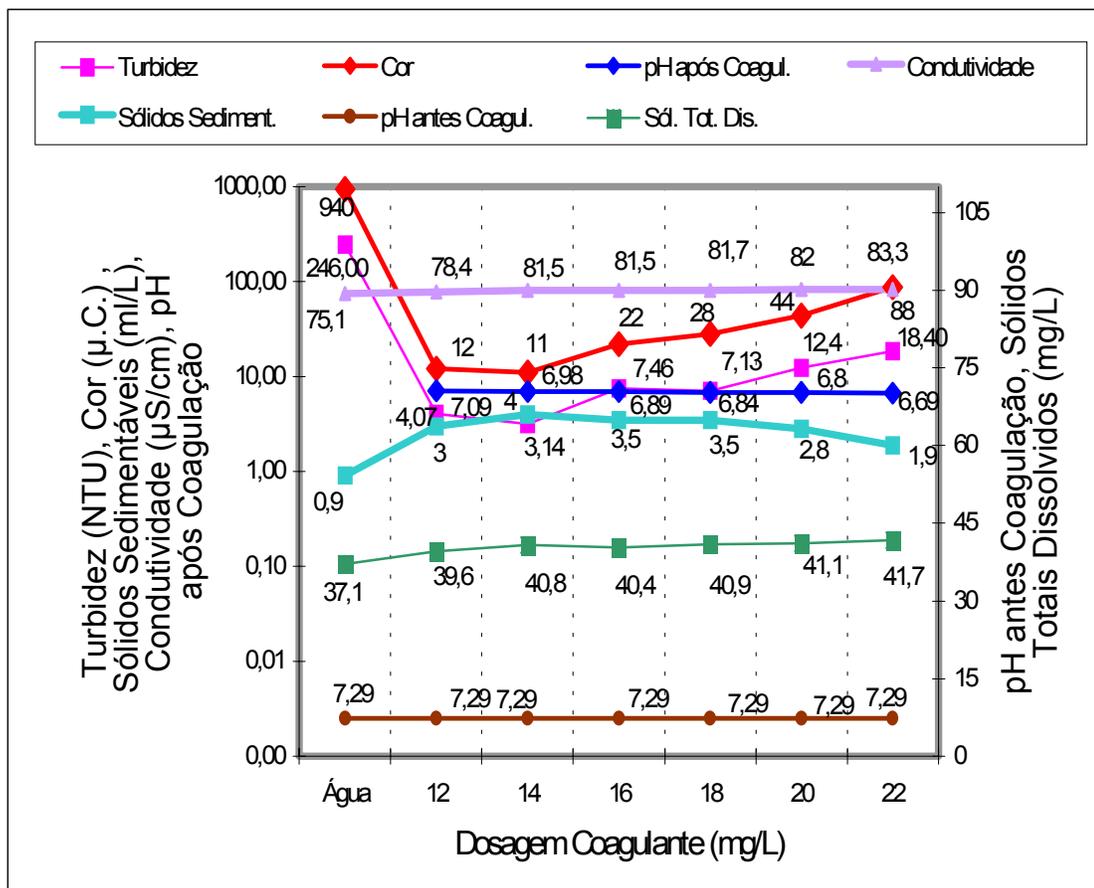


Gráfico 13: Demonstrativo das dosagens do coagulante policloreto de alumínio e as características primárias e remanescente da água bruta.

Na melhor dosagem o decaimento da turbidez foi de 246 para 3,14 NTU, para a cor aparente o decaimento foi de 940 para 11 UC.

O Gráfico não mostra, mas, neste teste não foi encontrado alumínio residual, bem como também ferro residual não foi encontrado, estes resultados estão na figura resumo no final desta unidade.

Os sólidos sedimentáveis, para este teste houve uma formação de 4 ml/L, no teste anterior com uma turbidez de 31,6 NTU a formação de sólidos sedimentáveis foi de 1,1 ml/L.

A dosagem ótima para este teste com turbidez inicial de 246 NTU é de 14 mg/l, para o teste anterior em uma turbidez de 31,6 NTU a dosagem foi de 8 mg/L.

4.2.3 Testes com Sulfato Férico

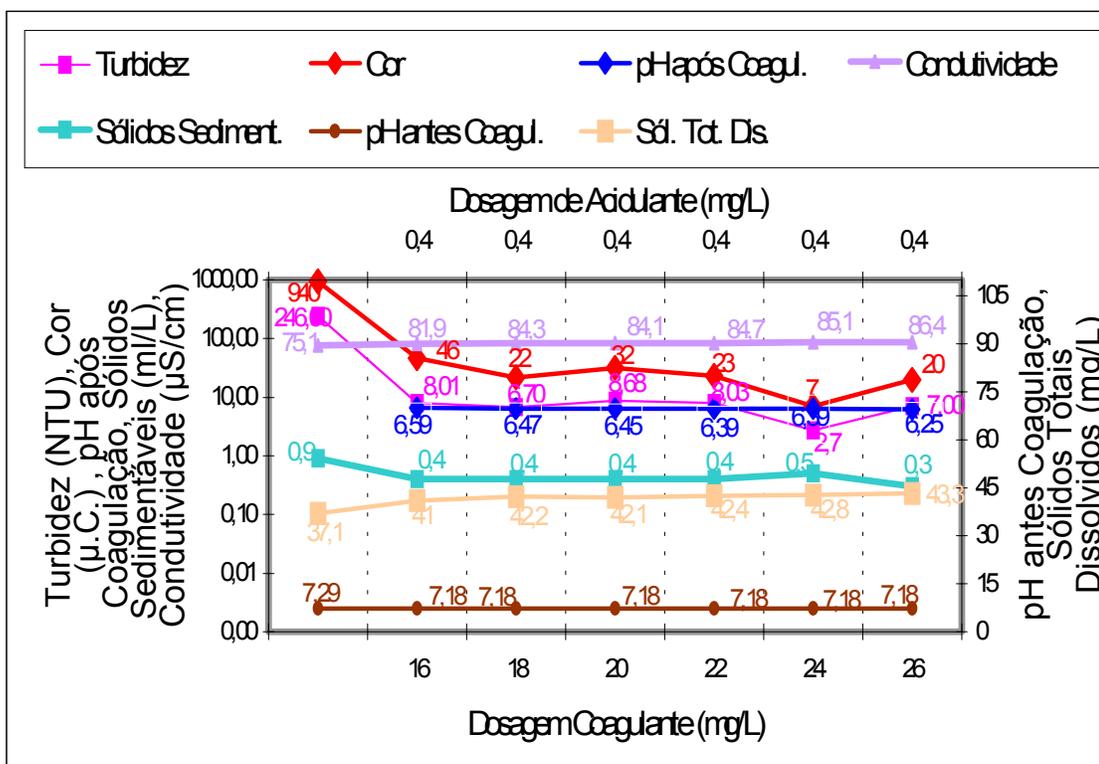


Gráfico 14: Aplicação de sulfato férrico, e sua ação nas características primárias e remanescentes da água.

Neste ensaio o coagulante sulfato férrico em sua melhor dosagem obteve um decaimento ou redução de turbidez de 246 para 2,7 NTU.

O Gráfico acima não mostra mas o residual de ferro total foi da ordem de 0,01mg/l e a cor houve uma redução de 940 para 7 UC .

Quanto aos sólidos sedimentáveis houve formação de 0,5 ml/L, para o teste anterior com o mesmo reagente e turbidez de 31,6 NTU a formação de sólidos sedimentáveis foi de 0,2 ml/L, os sólidos totais dissolvidos foi de 42,8mg/L. A redução do pH inicial para o final da coagulação floculação foi de pH= 7,18 para 6,39.

A sua dosagem ótima foi de 24 mg/L, para o mesmo reagente no teste anterior onde a turbidez era de 31,6 NTU a dosagem foi de 18 mg/L.

4.2.4 Testes com Cloreto Férrico

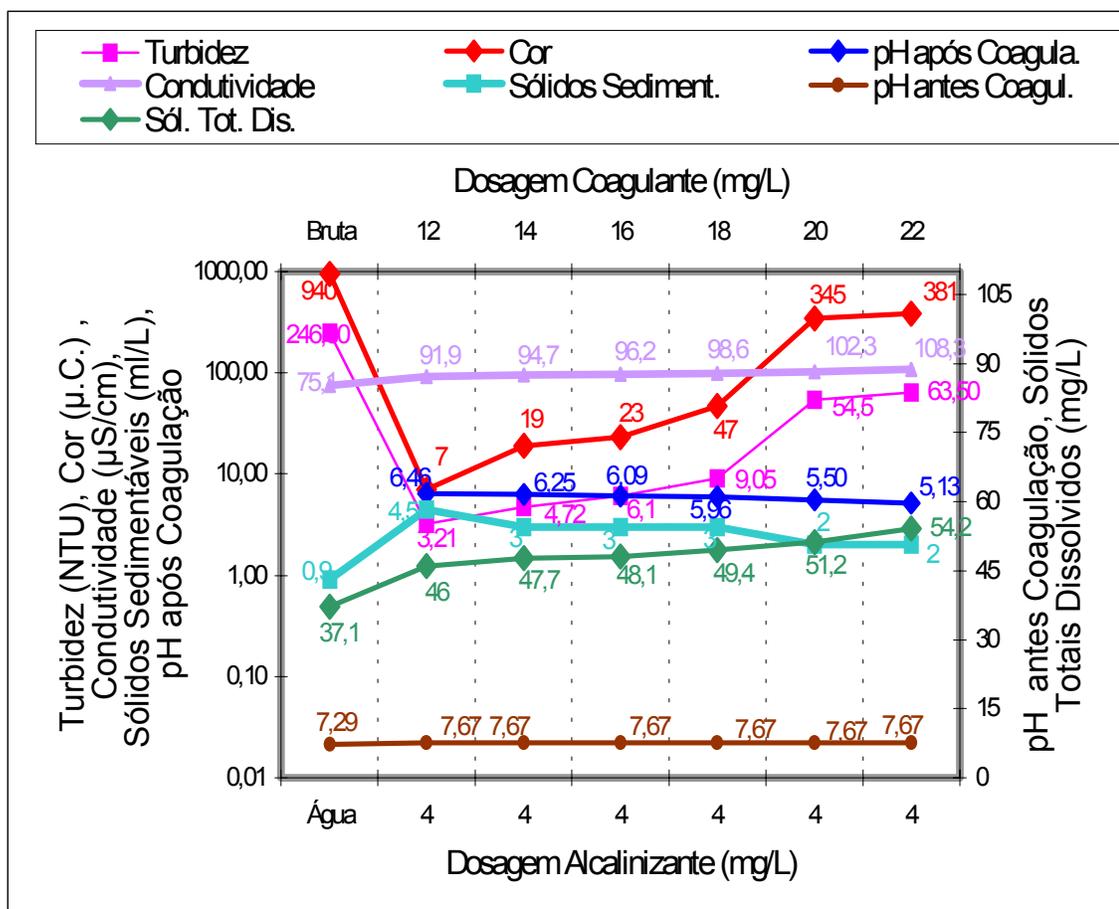


Gráfico 15: Comparativo das dosagens do coagulante cloreto férrico, com as características primárias e residuais.

O Gráfico acima nos mostra um decaimento excelente de turbidez e cor, com uma turbidez de 246 decaindo para 3,21NTU e a cor de 940 para 7 UC .

Os sólidos sedimentáveis ou índice de lodo atingiu, na dosagem ótima de turbidez 4,5 ml/L, para o teste anterior com o mesmo reagente e a turbidez em 31,6 NTU os sólidos sedimentáveis foi de 0,7 ml/L.

Para este teste com a turbidez inicial de 246 NTU a dosagem ótima foi de 12 mg/L, para o mesmo reagente no teste anterior com turbidez de 31,6 NTU a dosagem era de 14 mg/L, pelo que se mostra o consumo diminuiu com o aumento da turbidez.

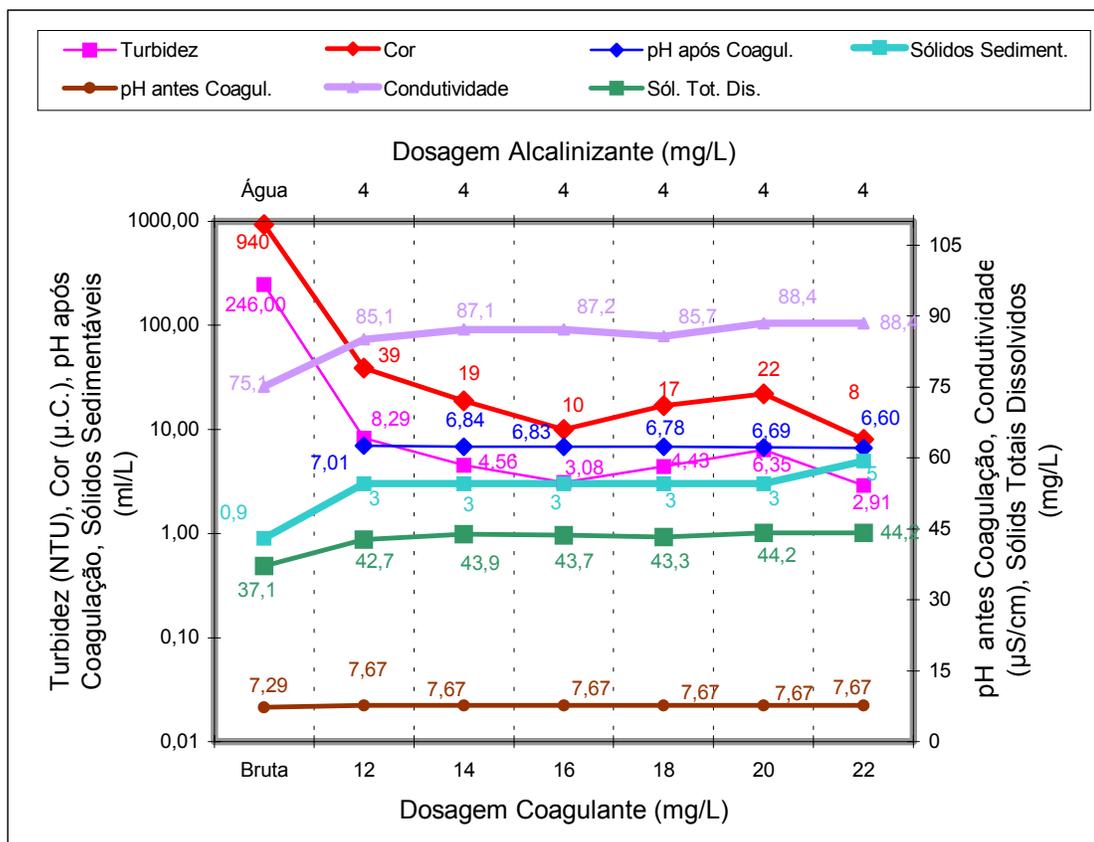
4.2.5 Testes com Polifloc 2% Fe₂O₃ + 7% Al₂O₃

Gráfico 16: A eficiência do coagulante Polifloc 2% Fe₂O₃ + 7% Al₂O₃, com as características primárias e residuais, da água em estudo.

Neste gráfico temos um decaimento de turbidez de 246 para 2,91 NTU, e o decaimento da cor de 940 para 8 UC .

Os sólidos sedimentáveis houve a formação de 5 ml/L, no teste anterior com o mesmo reagente e turbidez de 31,6 NTU houve a formação de 0,9ml/l na dosagem ótima do coagulante para o decaimento da turbidez e cor.

A dosagem ótima para este coagulante ficou em 24mg/L e a diferença para o mesmo reagente com a turbidez de 31,6 NTU, é de 8 mg/L.

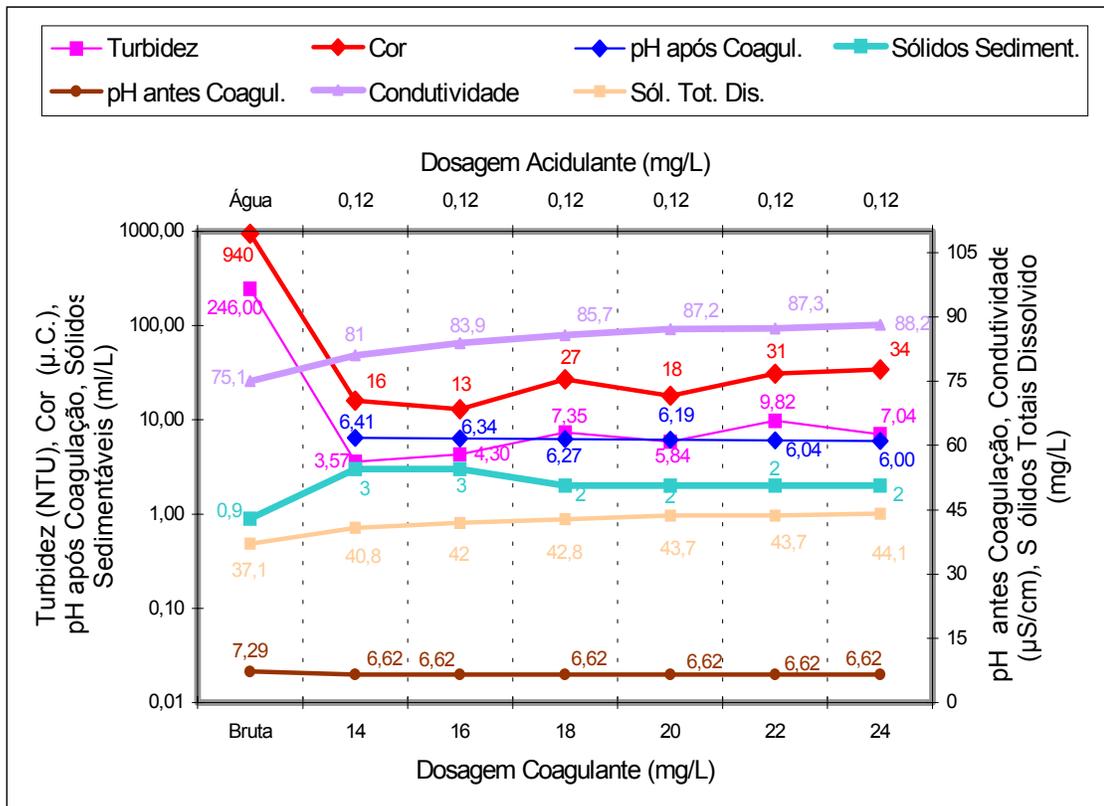
4.2.6 Testes com Polifloc 4% Fe_2O_3 + 5% Al_2O_3 

Gráfico 17: A eficiência do coagulante Polifloc 4% Fe_2O_3 + 5% Al_2O_3 , com as características primárias e residuais, da água em estudo.

O Gráfico acima indica um decaimento da turbidez na ordem 246 para 3,57 NTU, e o decaimento da cor de 940 para 16 UC.

Os sólidos sedimentáveis mostra uma formação de 3 ml/L, e com baixo decaimento de pH de 6,62 para 6,41.

A dosagem ótima de coagulante indica 14 mg/L, mostrando que não houve aumento de consumo de reagente de uma turbidez de 31,6 NTU para uma turbidez de 246 NTU.

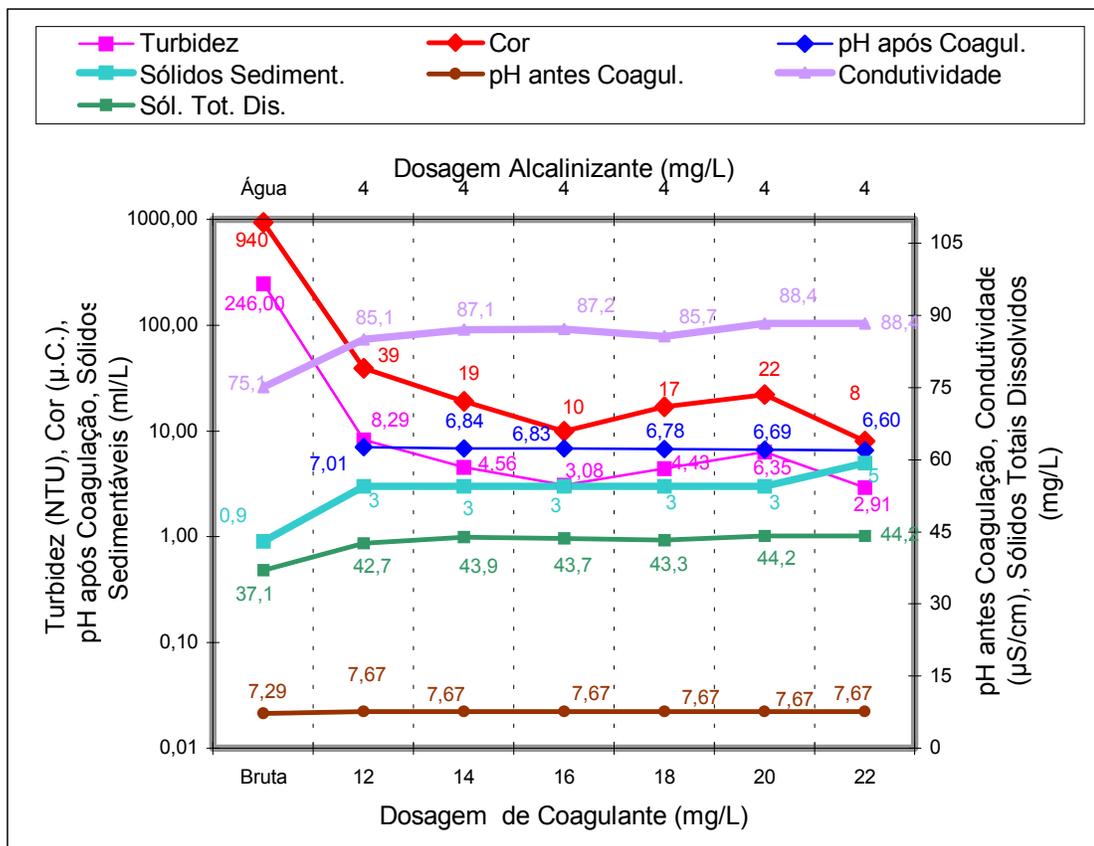
4.2.7 Testes com Polifloc 7% Fe₂O₃ + 2% Al₂O₃

Gráfico 18: A eficiência do coagulante Polifloc 7% Fe₂O₃ + 2% Al₂O₃, com as características primárias e residuais da água em estudo.

O gráfico acima indica um decaimento de turbidez de 246 para 2,91 NTU, e cor de 940 para 8 UC, na dosagem ótima de coagulante.

Quanto a produção de lodo, o sólido sedimentáveis indica 5 ml/L, porém no teste anterior com a turbidez de 31,6 NTU o índice de lodo era de 0,9 mg/L.

A dosagem ótima de coagulante ficou em 22 mg/L, no teste naterior com mesmo reagente e com turbidez de 31,6 NTU a dosagem foi de 16 mg/L.

4.2.8 Teste com Coagulante Flocculante

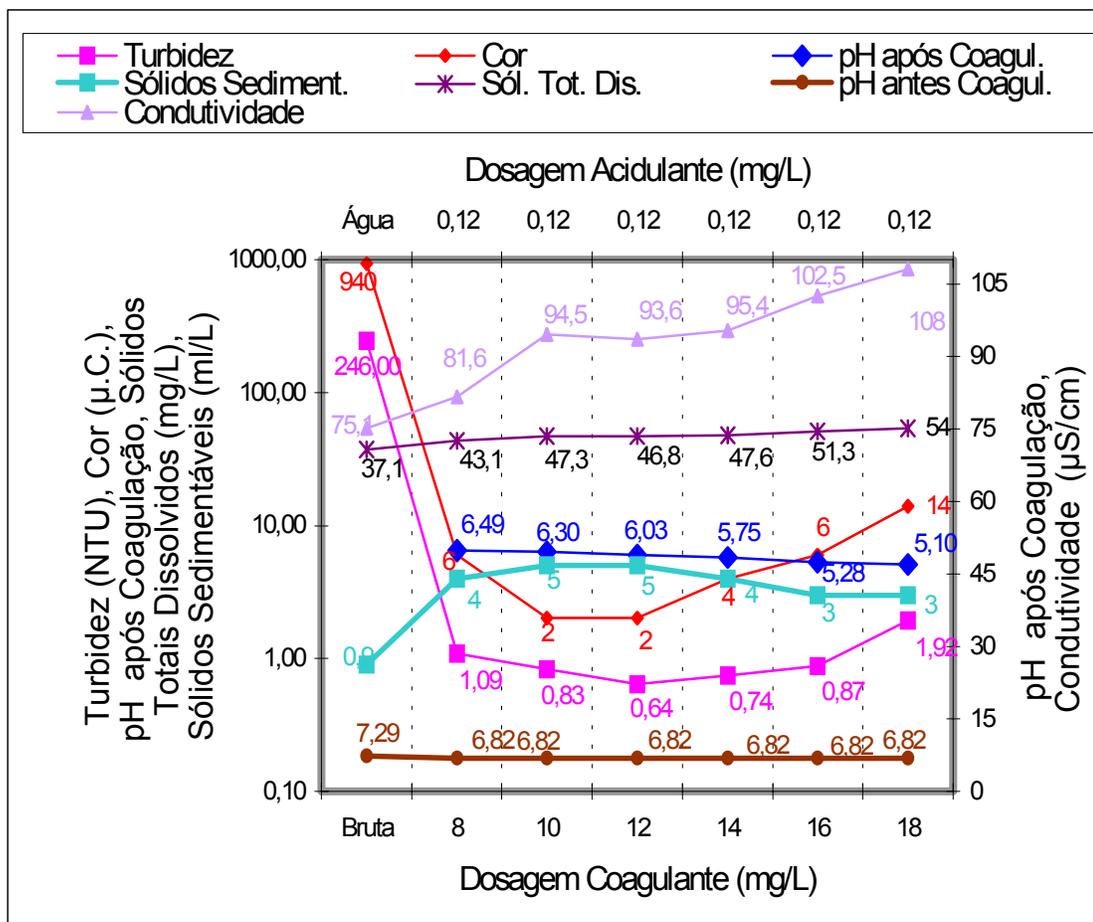


Gráfico 19: mostrando as dosagens do coagulante flocculante e as dosagens de alcali, para obtenção da dosagem ótima, e mostra as características primárias e remanescentes da água.

Neste gráfico nota-se o decaimento de turbidez de 246 para 0,64 NTU, e um decaimento da cor de 940 para 2 UC .

O índice de sólidos sedimentáveis formou um volume de 5 ml/L, no teste anterior com a turbidez de 31,6 NTU obteve-se um índice de 1,5 ml/L.

A dosagem ótima para este teste é de 12 mg/L, para o teste anterior com a turbidez de 31,6 NTU a dosagem ótima foi de 8 mg/L.

4.2.9 Testes com o Coagulante Sulfato Ferroso

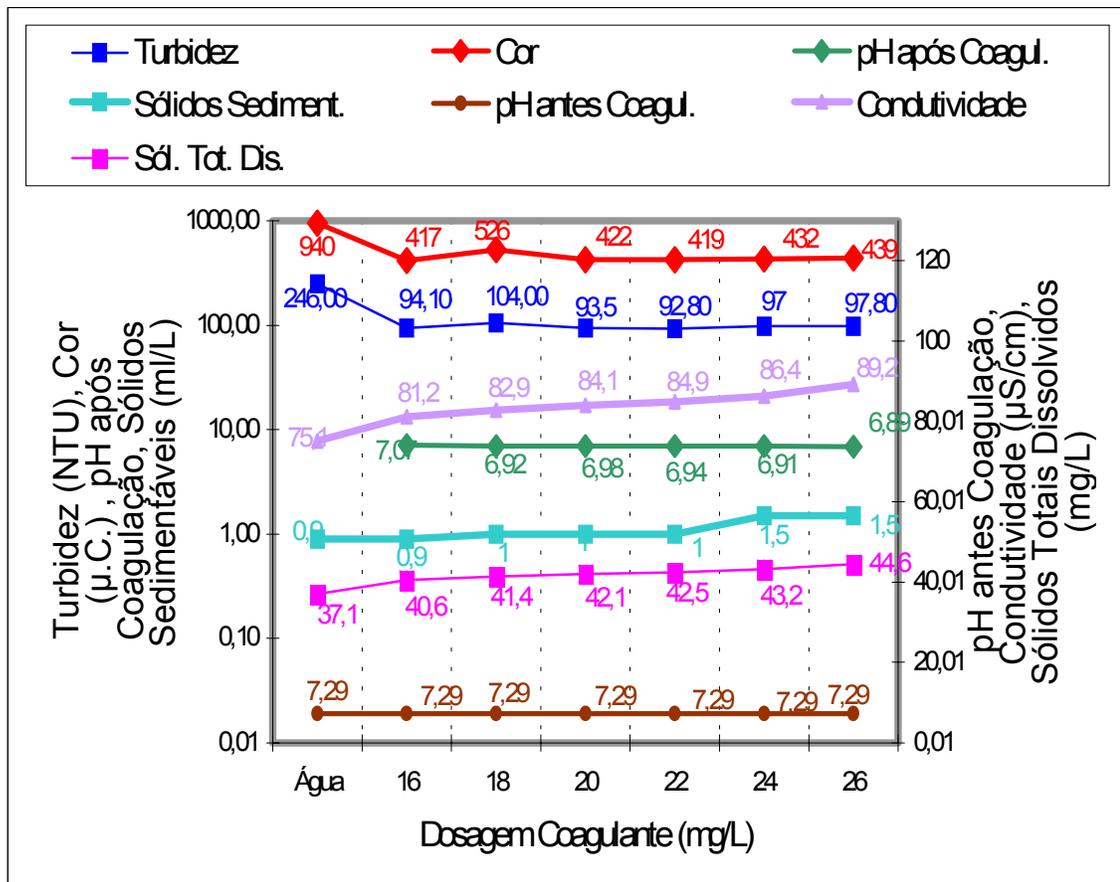


Gráfico 20: Dosagens do coagulante sulfato ferroso, comparando com as características primárias e remanescente da água.

Neste teste é possível perceber-se a dosagem ótima do coagulante sulfato ferroso em 22 mg/L, no teste anterior para uma turbidez de 31,6 NTU a dosagem ótima foi de 14 mg/L.

Os sólidos sedimentáveis formou um volume de 0,5 ml/L, no teste anterior com o mesmo reagente e turbidez de 31,6 NTU o índice de sólidos dissolvidos foi de 0,2 ml/l.

Quanto a turbidez houve um decaimento de 246 para 92,8 NTU, e a cor de 940 para 419 UC.

4.2.10 Testes com Coagulante Polieletrólito Catiônico Médio

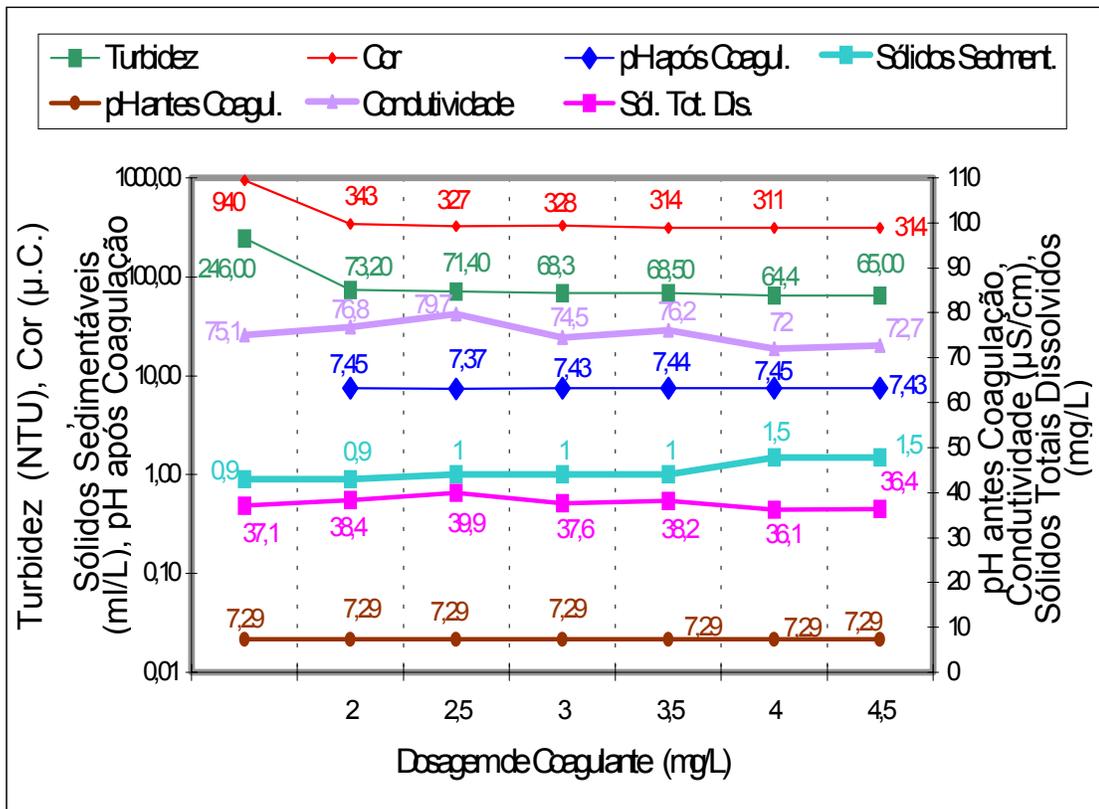


Gráfico 21: A dosagem do coagulante polieletrólito catiônico médio, comparando com as características primárias e remanescentes da água.

Neste percebe-se a dosagem ótima do coagulante polieletrólito foi de 4 mg/L, no teste anterior para uma turbidez de 31,6 NTU a dosagem ótima foi de 0,4 mg/L.

Os sólidos sedimentáveis formou um volume de 1,5 ml/L, no teste anterior com o mesmo reagente e turbidez de 31,6 NTU o índice de sólidos dissolvidos foi de 0,1 ml/L.

Quanto a turbidez houve um decaimento de 246 para 64,4 NTU, e a cor de 940 para 311 UC.

4.2.11 Melhores Dosagens, com Turbidez de 246 NTU e Cor de 940 UC

No Gráfico 22, pode-se verificar as variações de dosagens para uma mesma água com características iguais.

Quanto ao pH, antes e após a coagulação há uma variação para cada coagulante, que pode significar o consumo das espécies químicas presentes, ou a falta e ou excesso de cargas elétricas.

Na condutividade, acontece um fenômeno interessante, pois a mesma se mantém praticamente constante para todos os coagulantes em suas dosagens ótimas.

A cor, que é bom lembrar a aparente, percebe-se uma variação com picos elevados e preocupantes, nos dois últimos coagulantes.

Na turbidez a variação não é tão preocupante, pois se mantém em níveis toleráveis para os decantadores atuais, com exceção dos dois últimos coagulantes.

Os sólidos totais dissolvidos não desenvolve-se picos nas dosagens ótimas dos coagulante, para esta turbidez.

Os sólidos sedimentáveis, que mais particularmente interessa ao trabalho pois irá determinar a quantidade de lodo no decantador, há picos, porém muito baixos, em se tratando de uma turbidez alta.

Não foi possível plotar os residuais de ferro e de alumínio neste gráfico, porém os coagulantes a base de óxido de ferro não ultrapassaram índices de 0,01 mg/L, e os coagulantes com base no alumínio não apresentaram residuais.

A comparação das características remanescentes são realizadas sempre com as características da água bruta que se encontra indicada no início do gráfico.

GRÁFICO 22

4.3 Ensaio com Água de Turbidez 806 NTU e 2172 UC

DETERMINAÇÕES	UNIDADES	ÁGUA BRUTA	DETERMINAÇÕES	UNIDADES	ÁGUA BRUTA
Turbidez	NTU	806,00	Dureza total	mg/L CaCO ₃	39
COR	UC	2172	Ferro total	mg/L	4,98
pH antes COAGUL.		7,28	Manganês	mg/L	0,1
Alc. metil orange	mg/L CaCO ₃	33	Nitratos	mg/L	0
Alc. fenolftaleína	mg/L CaCO ₃	0	O ₂ Cons. meio ácido	mg/L	22,2
Alumínio residual	mg/L	0,09	O ₂ Dissolvido	mg/L	7,4
CO ₂ Livre	mg/L	115	Sólidos sediment.	mL/L	0,5
Cloretos	mg/L	25,50	SÓl. Tot. Dis. (TDS)	mg/L	41,1
Condutividade	µS/cm	82	Sulfatos	mg/L	6
Cobre total	mg/L	0,42	Zinco total	mg/L	0

Quadro 4: Características primárias da água a ser ensaiada.

4.3.1 Teste Usando o Coagulante Sulfato de Alumínio

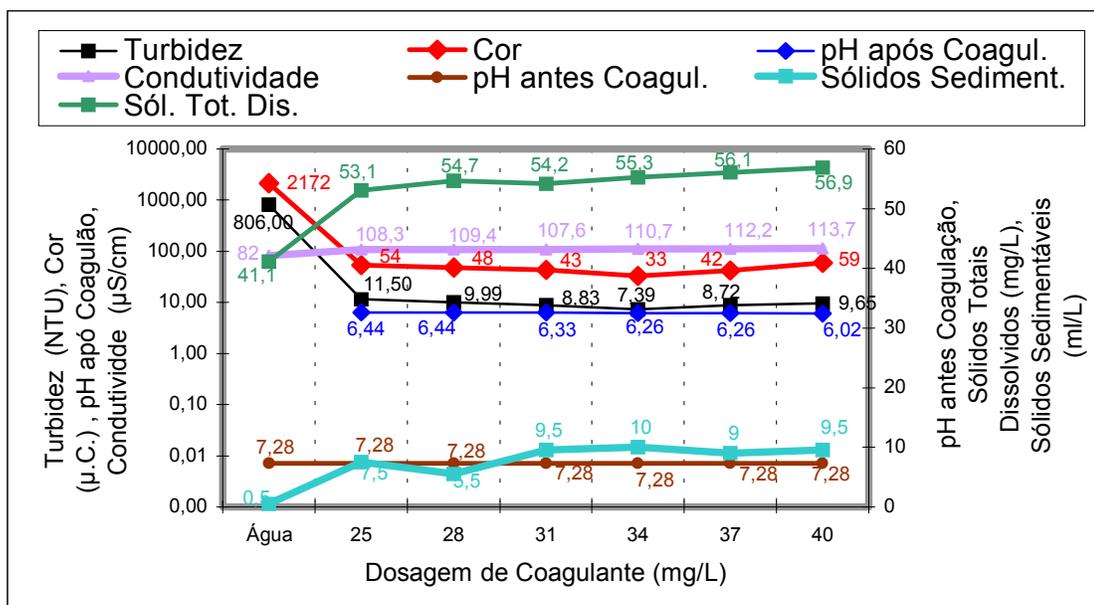


Gráfico 23: Dosagens do coagulante sulfato de alumínio, comparando com as características primárias e remanescentes, da água.

Este teste nos mostra, para o coagulante sulfato de alumínio, um decaimento de turbidez de 806 para 7,39 NTU, e para a cor de 2172 para 33 UC.

A dosagem do coagulante para esta turbidez é de 34 mg/L, para o teste anterior com a turbidez em 246 a dosagem foi de 20 mg/L.

Os sólidos sedimentáveis apresentou uma produção de 10 ml/L, no teste anterior com a turbidez inicial de 246 NTU o índice de sólidos sedimentáveis.

4.3.2 Ensaios Com o Coagulante Policloreto de alumínio

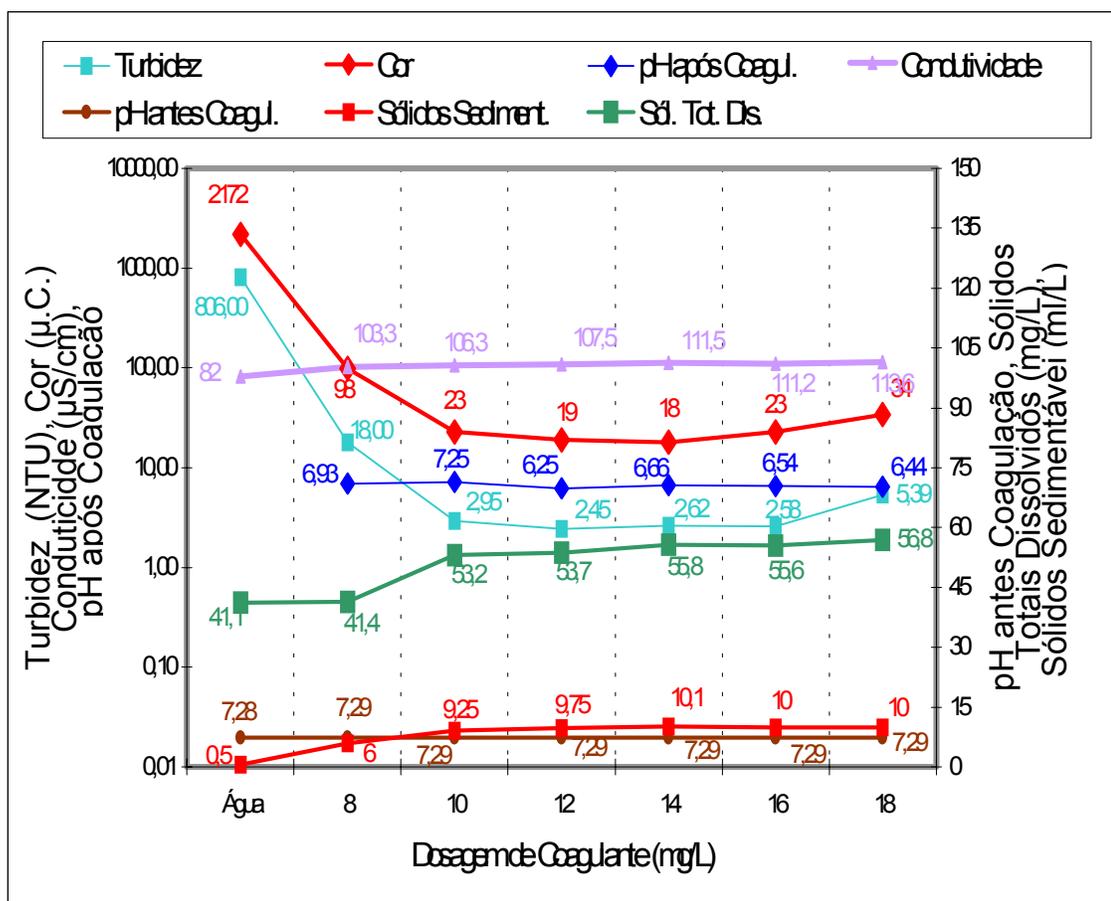


Gráfico 24: Desempenho do policloreto de alumínio com as características primárias da água em estudo, comparando com as remanescentes.

Neste ensaio percebe-se que a dosagem do coagulante policloreto de alumínio é de 12 mg/L, enquanto que no teste anterior para o mesmo reagente porém com a turbidez de 246 NTU, a dosagem foi de 14 mg/L.

O decaimento da turbidez foi de 806 para 2,45 NTU, sendo que no teste anterior para o mesmo reagente com a turbidez de 246 NTU a turbidez foi de 3,14 NTU, para a cor o decaimento foi de 2172 para 19 UC.

Para o índice de sólidos sedimentáveis houve formação de 9,75 ml/L, enquanto que no teste anterior para o mesmo reagente e com turbidez de 246 NTU foi de 4 ml/L.

4.3.3 Testes Com o Coagulante Sulfato Férico

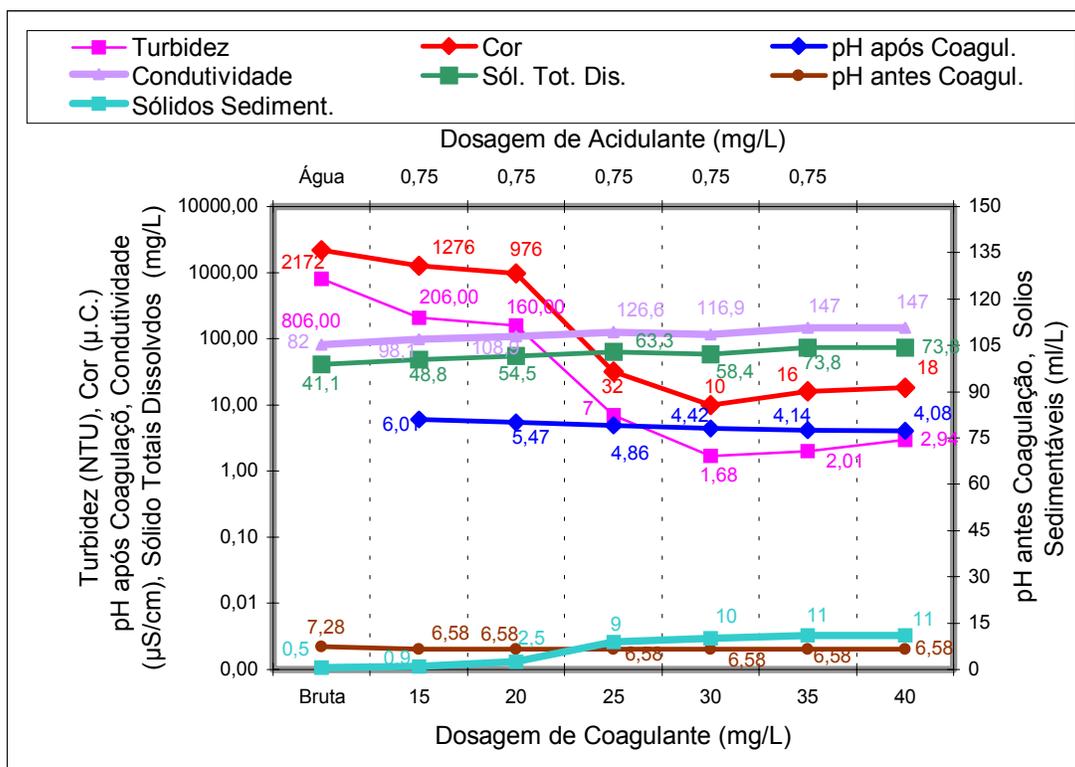


Gráfico 25: Dosagens de acidulante e do coagulante sulfato férrico, comparando com as características primárias e remanescente.

Este Gráfico indica uma dosagem de sulfato férrico de 30 mg/l, a dosagem do teste anterior para o mesmo reagente e turbidez inicial de 246 NTU foi de 12 mg/L.

A redução de turbidez foi de 806 para 1,68 NTU, e a redução de cor foi de 2172 para 10 UC.

Os sólidos sedimentáveis formaram neste teste um volume de 10 ml/L, e no teste anterior com a turbidez inicial de 246 NTU, formaram 0,5 ml/L.

4.3.4 Testes Com o Coagulante Cloreto Férrico

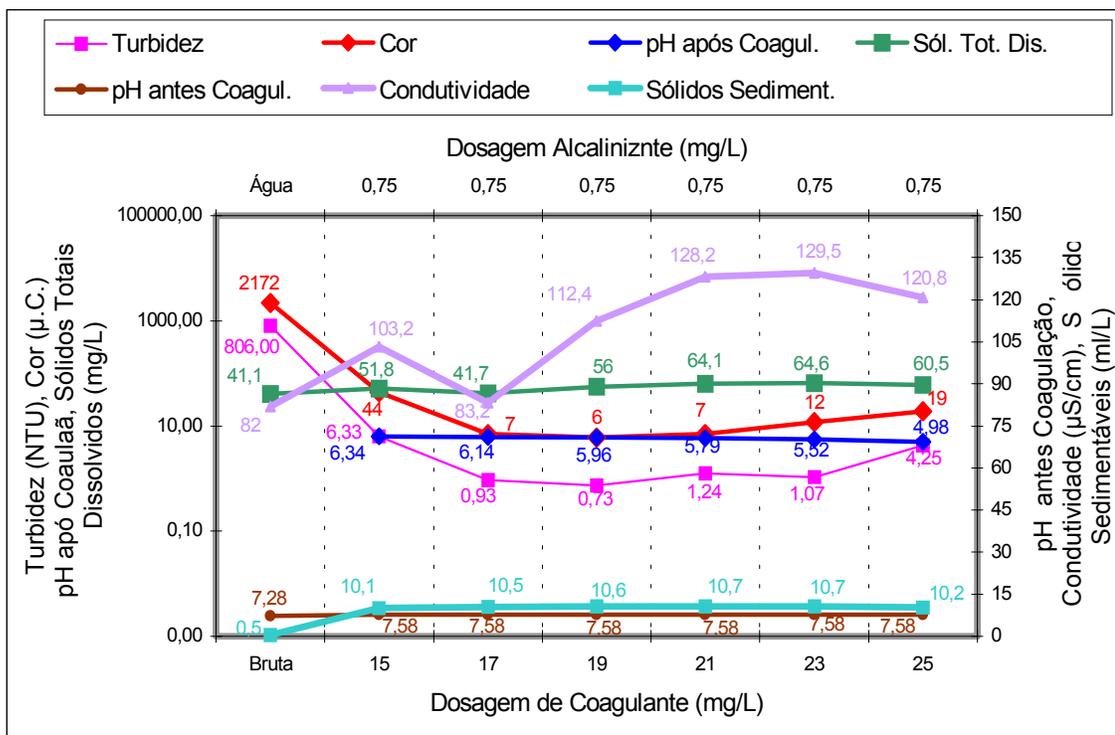


Gráfico 26: Dosagens de alcalinizante, e do coagulante cloreto férrico, comparando com as características primárias e remanescentes da água.

O Gráfico acima mostra que a dosagem do coagulante cloreto férrico, para este teste foi de 19 mg/L, para o teste anterior com o mesmo reagente e com a turbidez inicial de 246 NTU a dosagem foi de 12 mg/L.

O decaimento da turbidez para este teste foi de 806 para 0,73 NTU, o teste anterior foi de 246 para 3,21 NTU.

A formação de lodo demonstrado pelo índice de sólidos sedimentáveis neste teste com a melhor dosagem foi de 10,6 ml/L.

4.3.5 Testes com o Coagulante Polifloc 2% Fe_2O_3 e 7% de Al_2O_3

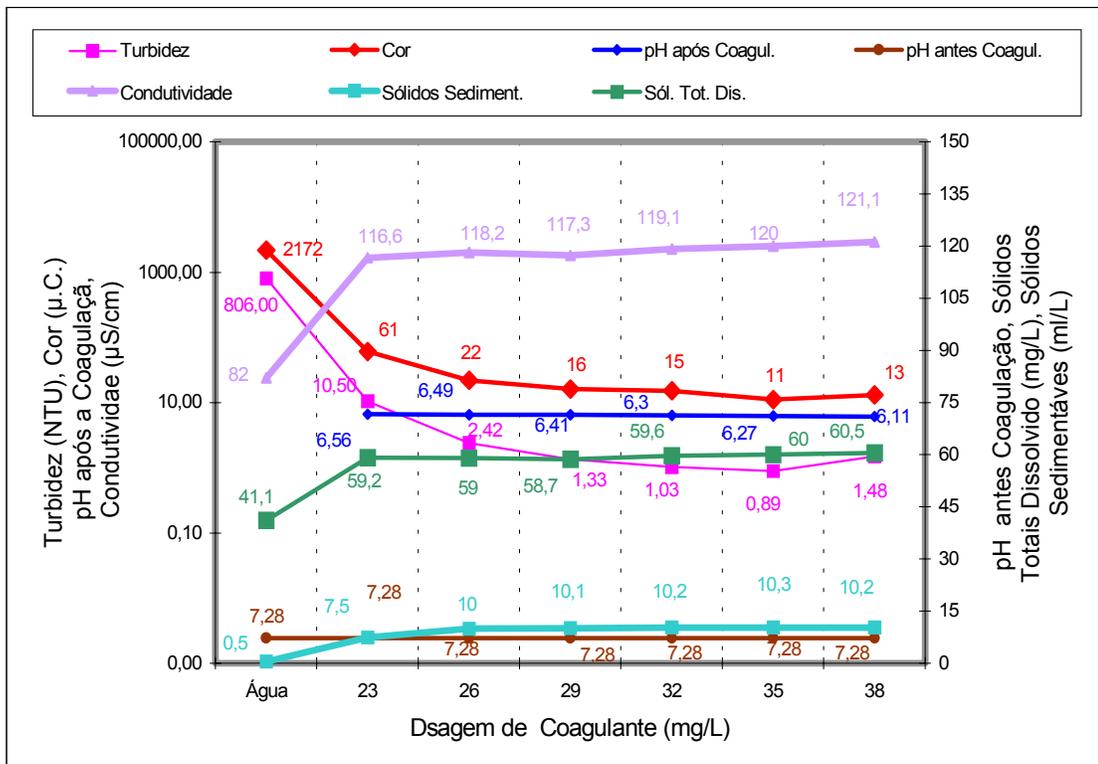


Gráfico 27: Dosagens do coagulante polifloc com 2% em Fe_2O_3 e com 7% em Al_2O_3 , comparando com as características primárias e remanescente da água.

Para este teste a dosagem do coagulante é de 35 mg/L, no teste anterior com a turbidez inicial de 246 NTU foi de 22 mg/L.

Pra a turbidez o decaimento foi de 806 para 0,69 NTU, e para a cor o decaimento foi de 2172 para 11 UC.

Os sólidos sedimentáveis apresentaram um volume de 10,3 ml/L, contra 5 ml/L do teste anterior onde a turbidez era de 246 NTU.

4.3.6 Teste com Polifloc Com 4% de Fe_2O_3 mais 5% de Al_2O_3

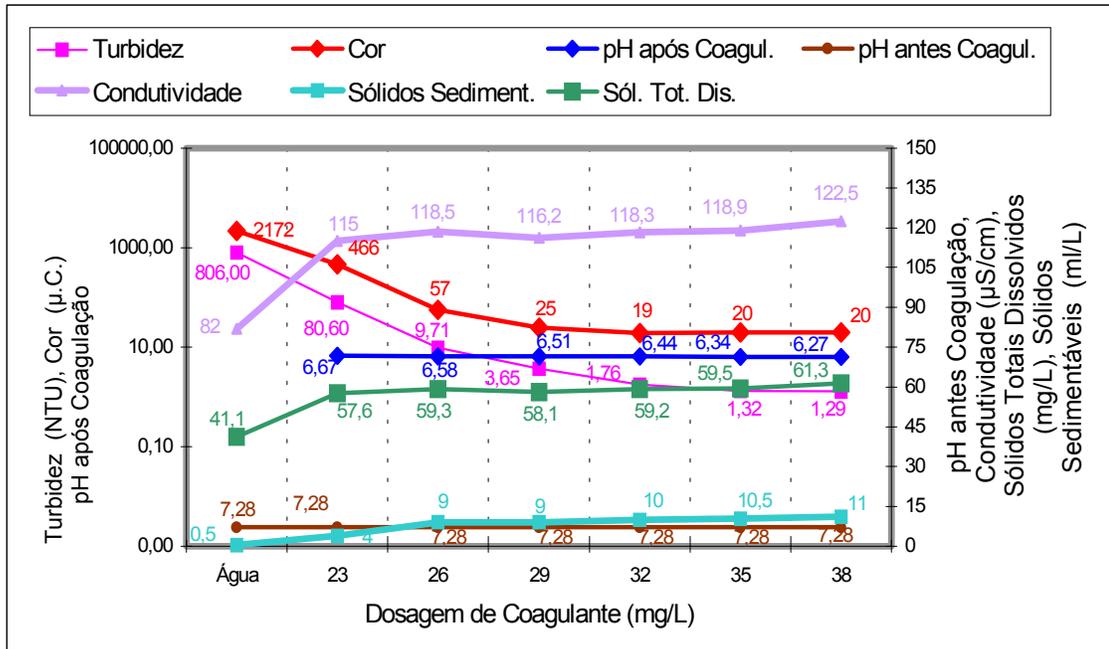


Gráfico 28: Dosagens do coagulante Polifloc 4 % de óxido de ferro e 5% de óxido de alumínio, e comparando as características primárias com as remanescentes da água.

O teste atual mostra uma dosagem de coagulante de 38 mg/L, no teste da série anterior para o mesmo reagente com uma turbidez de 246 NTU a dosagem foi de 14 mg/L.

Quanto a turbidez, neste teste houve o decaimento de 806 NTU para 1,29 NTU, no teste da série anterior para o mesmo reagente foi de 246 para 3,57 NTU.

O volume de lodo formado e indicado pelas sólidos sedimentáveis é de 11 ml/L, e no teste anterior com turbidez de 246 NTU foi de 3 ml/L.

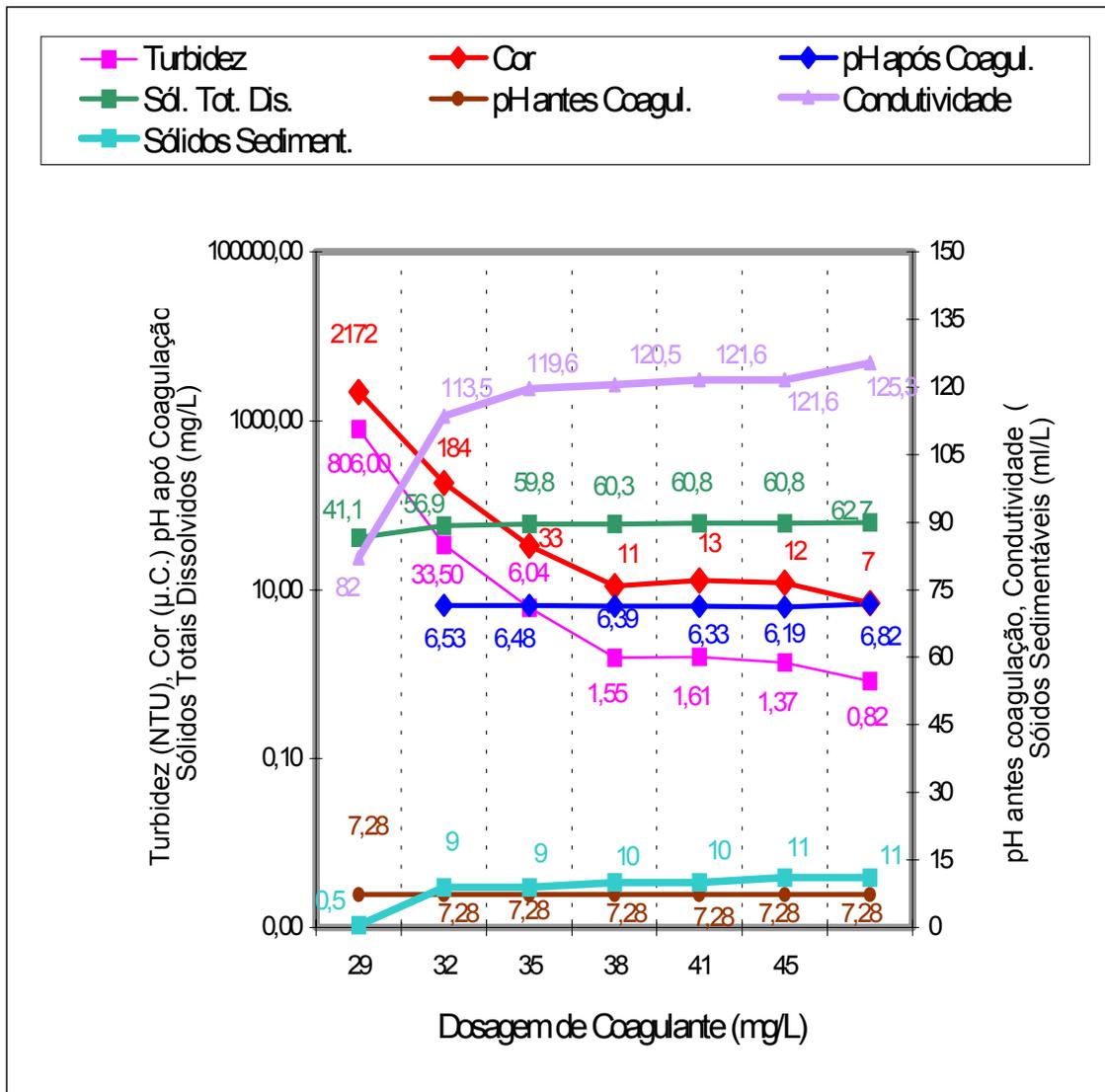
4.3.7 Ensaios Com o Coagulante Polifloc 7% Fe₂O₃ mais 2% de Al₂O₃

Gráfico 29: Comparativo da dosagem do coagulante Polifloc 7% de óxido de ferro e 2% de óxido de alumínio, e as características primárias e remanescente da água.

Este ensaio mostra uma dosagem ótima de coagulante de 45 mg/l, sendo que no teste anterior e com uma turbidez de 246 NTU a dosagem foi de 24 mg/L.

O índice de lodo formado e medido pelos sólidos sedimentáveis é de 11 ml/L e no teste anterior com turbidez de 246 NTU o volume foi de 5 ml/L.

O decaimento da turbidez foi de 806 para 0,82 NTU, e para a cor o decaimento foi de 2172 para 7 UC.

4.3.8 Teste Com o Coagulante Flocculan

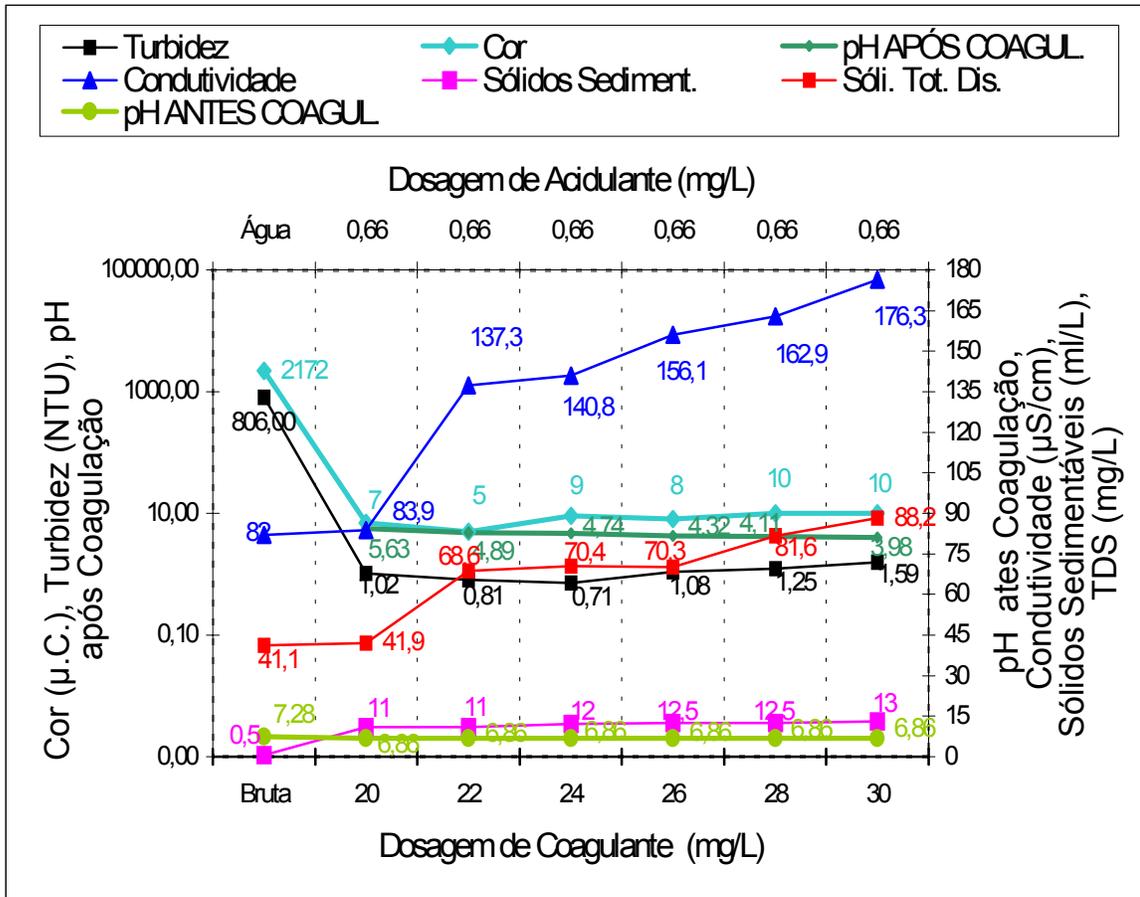


Gráfico 30: Dosagens de acidulante e do coagulante flocculan comparando as características iniciais e remanescentes da água.

Neste ensaio tem-se uma dosagem ótima do coagulante flocculan de 24 mg/l, no teste anterior com a turbidez de 246 NTU a dosagem foi de 12 mg/L.

O decaimento de turbidez é de 806 para 0,71 NTU, e para a cor o decaimento foi de 2172 para 9 UC.

A produção de lodo foi de 12 ml/L.

4.3.9 Teste Com o Coagulante Sulfato Ferroso

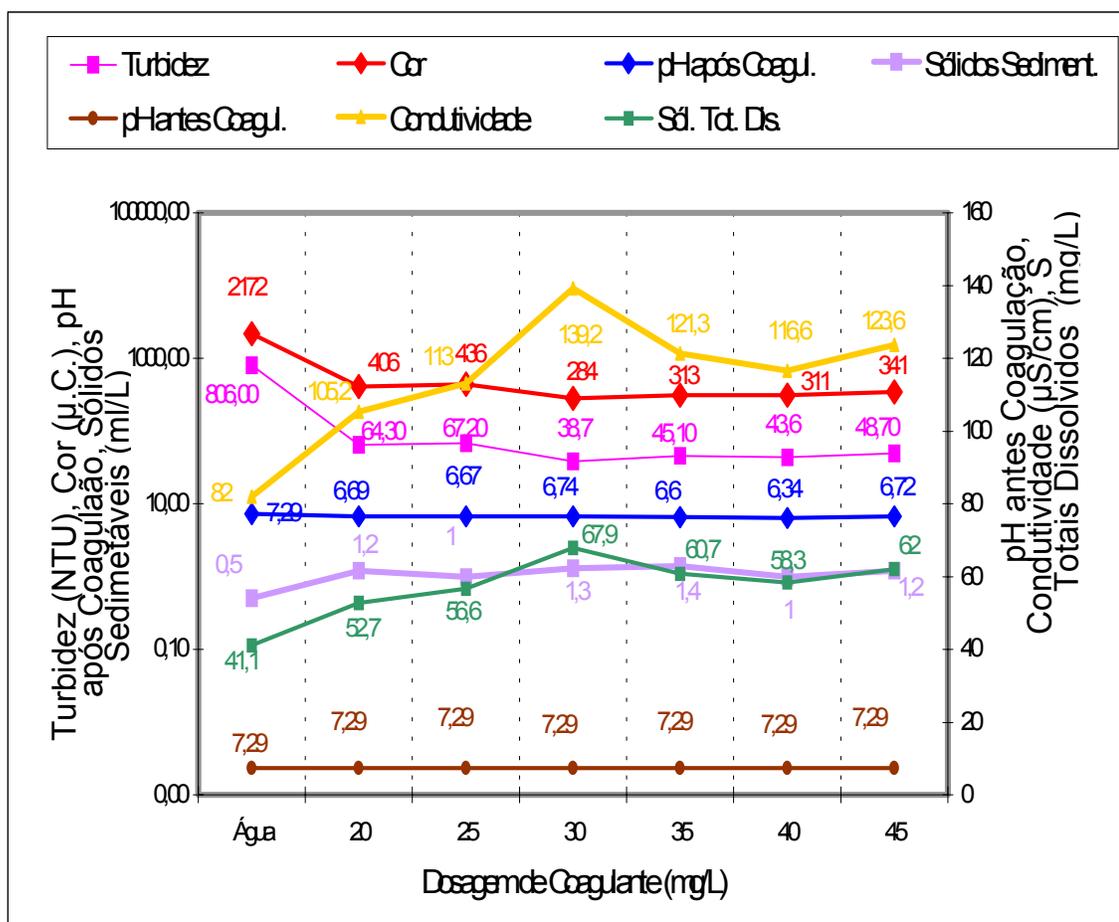


Gráfico 31: Dosagens do coagulante sulfato ferroso, comparando as características primárias com as remanescentes.

Neste teste temos a dosagem do coagulante sulfato ferroso em 30 mg/L.

O decaimento de turbidez de 806 NTU para 38,7 NTU, e a cor de 2172 para 284 UC.

O volume de lodo formado é de 1,3 ml/L.

4.3.10 Teste com o coagulante Polieletrólito Catiônico Médio

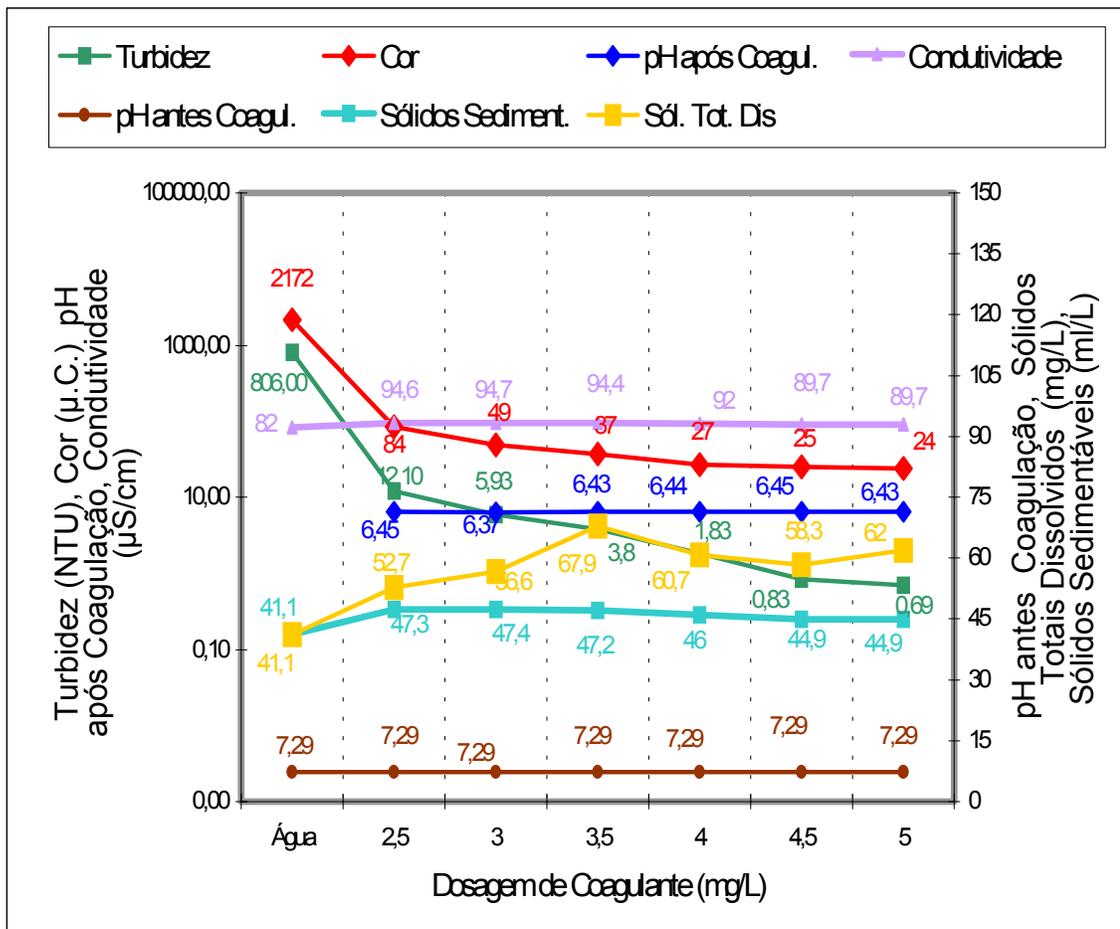


Gráfico 32: Demonstrativo das dosagens do coagulante polieletrólito catiônico médio, comparando com as características primárias e remanescentes da água.

Com este teste nota-se a eficiência dos coagulantes orgânicos, baixas dosagens como esta de 5 mg/L.

O volume de lodo formado é de 5ml/L.

O decaimento de turbidez de 806 para 0,69 NTU, e cor de 2172 para 24 UC.

4.3.11 As melhores dosagens e características da água em estudo, com uma Turbidez de 806 NTU e Cor de 2172 UC

No Gráfico 33 pode-se verificar as variações de dosagens para uma mesma água com características iguais.

Quanto ao pH, antes e após a coagulação há uma variação para cada coagulante, que pode significar o consumo das espécies químicas presentes, ou a falta e ou excesso de cargas elétricas.

Na condutividade, acontece um fenômeno interessante, pois a mesma se mantém praticamente constante para todos os coagulantes em suas dosagens ótimas.

A cor, que é bom lembrar a aparente, percebe-se uma variação com picos elevados e preocupantes, nos dois últimos coagulantes.

Na turbidez a variação não é tão preocupante, pois se mantém em níveis toleráveis para os decantadores atuais, com exceção dos dois últimos coagulantes.

Os sólidos totais dissolvidos não desenvolve-se picos nas dosagens ótimas dos coagulante, para esta turbidez.

Os sólidos sedimentáveis, que mais particularmente interessa ao trabalho pois irá determinar a quantidade de lodo no decantador, há picos, porém muito baixos, em se tratando de uma turbidez alta.

A comparação das características remanescentes são realizadas sempre com as características da água bruta que se encontra indicada no início do gráfico.

GRÁFICO 33

4.3.12 Quadros comparativo para cada reagente e turbidez pesquisados

Nas páginas seguintes são apresentadas uma série de 5 quadros que ilustram os coagulantes com suas variações, dentro de valores alternados de turbidez, e de cor. Também é possível analisar os melhores coagulantes com suas faixas de turbidez, e o rendimento de cada coagulante está visível.

	UNIDADES	FLOCULAN [FeCl3 . Fe2(SO4)3]						POLICLORETO DE ALUMÍNIO					
		Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados
Dos. coagulante	mg/L		24		12		8		12		14		8
Grad. Mist. Rápida	S-1 120 rpm		110		110		110		120		110		110
Grad. Mist. Lenta	S-1 62/46rpm		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35
Tempo Mist. Rápida	Minutos		1		1		1		1		1		1
Tempo Mist. Lenta	Minutos		10		10		10		10		10		10
Tempo Dec. Na Cuba	Minutos		15		15		15		15		15		15
T. Dec. Cone Imhof	Minutos	30	30		30		30	30	30		30		30
Turbidez	NTU	806,00	0,71	246,00	0,64	31,60	1,50	806,00	2,45	246,00	3,14	31,60	3,93
Cor	UC	2172	9	940	2	155	3	2172	19	940	11	155	20
pH Antes Coagul.		7,28	6,86	7,29	6,82	7,25	6,62	7,28	7,29	7,29	7,29	7,25	7,25
pH Após Coagul.			4,74		6,03		6,27		6,25		6,98		7,09
Alumínio Residual	mg/L	0,09			0			0,09	0		0		
Condutividade	µS/cm	82	140,8	75,1	93,6	77,2	106,9	82	107,5	75,1	81,5	77,2	95,5
Ferro Total	mg/L	4,98	0,06	2,57	0,01			4,98	0	2,57	0		
Sólidos Sediment.	mL/L	0,5	12	0,9	5	0,1	1,5	0,5	9,75	0,9	4	0,1	1,1
Sól. Tot. Dis. (TDS)	mg/L	41,1	70,4	37,1	46,8	38,7	53,2	41,1	53,7	37,1	40,8	38,7	47,8

Quadro 5: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho

	UNIDADE	POLIELETRÓLITO CATIÔNICO MÉDIO						SULFATO FERROSO					
		Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados
Dos. Coagulante	mg/L		5		4		0,4		30		22		14
Grad. Mist. Rápida	S-1 120 rpm		110		110		110		110		110		110
Grad. Mist. Lenta	S-1 62/46rpm		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35
Tempo Mist. Rápida	Minutos		1		1		1		1		1		1
Tempo Mist. Lenta	Minutos		10		10		10		10		10		10
Tempo Dec. na Cuba	Minutos		15		15		15		15		15		15
T. Dec. Cone Imhof	Minutos	30	30		30		30	30	30		30		30
Turbidez	NTU	806,00	0,69	246,00	64,4	31,60	8,91	806,00	38,7	246,00	92,80	31,60	12,50
Cor	UC	2172	24	940	311	155	51	2172	284	940	419	155	65
PH Antes Coagul.		7,28	7,29	7,29	7,29	7,25	7,25	7,28	7,29	7,29	7,29	7,25	6,55
PH Após Coagul.			6,43		7,45		7,54		6,74		6,94		6,74
Alumínio Residual	mg/L	0,09	0,01		0			0,09	0,01		0		
Condutividade	µS/cm	82	89,7	75,1	72	77,2	101,7	82	139,2	75,1	84,9	77,2	101,5
Ferro Total	mg/L	4,98	0,02	2,57	o			4,98	1,4	2,57	0,1		
Sólidos Sediment.	mL/L	0,5	5	0,9	1,5	0,1	0,1	0,5	1,3	0,9	0,5	0,1	0,2
Sól. Tot. Dis. (TDS)	mg/L	41,1	44,9	37,1	36,1	38,7	50,9	41,1	67,9	37,1	42,5	38,7	50,7

Quadro 6: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho

	UNIDADES	SULFATO DE ALUMÍNIO						POLIFLOC 7% Fe ₂ O ₃ + 2% Al ₂ O ₃					
		Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados
Dos. Coagulante	mg/L		34		20		12		45		24		16
Grad. Mist. Rápida	S-1 120 rpm		120		110		110		110		110		110
Grad. Mist. Lenta	S-1 62/46rpm		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35
Tempo Mist. Rápida	Minutos		1		1		1		1		1		1
Tempo Mist. Lenta	Minutos		10		10		10		10		10		10
Tempo Dec. Na Cuba	Minutos		15		15		15		15		15		15
T. Dec. Cone Imhof	Minutos	30	30		30		30	30	30		30		30
Turbidez	NTU	806,00	7,39	246,00	4,19	31,60	2,41	806,00	0,82	246,00	4,20	31,60	2,62
Cor	UC	2172	33	940	11	155	11	2172	7	940	21	155	7
pH Antes Coagul.		7,28	7,28	7,29	7,29	7,25	7,25	7,28	7,28	7,29	6,50	7,25	6,55
pH Após Coagul.			6,26		6,62		6,78		6,82		5,85		6,14
Alumínio Residual	mg/L	0,09	0,04		0			0,09	0,02		0		
Condutividade	µS/cm	82	110,7	75,1	82,4	77,2	96,9	82	125,3	75,1	93,4	77,2	107,7
Ferro Total	mg/L	4,98	0	2,57	0,02			4,98	0,04	2,57	0,01		
Sólidos Sediment.	mL/L	0,5	10	0,9	4	0,1	1	0,5	11	0,9	5	0,1	0,9
Sól. Tot. Dis. (TDS)	mg/L	41,1	55,3	37,1	40,7	38,7	46,8	41,1	62,7	37,1	46,2	38,7	53,9

Quadro 7: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho

	UNIDADES	POLIFLOC 4% Fe ₂ O ₃ + 5% Al ₂ O ₃						POLIFLOC 2% Fe ₂ O ₃ + 7% Al ₂ O ₃					
		Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados
Dos. Coagulante	mg/L		38		14		14		35		22		14
Grad. Mist. Rápida	S-1 120 rpm		110		110		110		110		110		110
Grad. Mist. Lenta	S-1 62/46rpm		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35
Tempo Mist. Rápida	Minutos		1		1		1		1		1		1
Tempo Mist. Lenta	Minutos		10		10		10		10		10		10
Tempo Dec. Na Cuba	Minutos		15		15		15		15		15		15
T. Dec. Cone Imhof	Minutos	30	30		30		30	30	30		30		30
Turbidez	NTU	806,00	1,29	246,00	3,57	31,60	2,86	806,00	0,89	246,00	2,91	31,60	3,72
Cor	UC	2172	20	940	16	155	5	2172	11	940	8	155	17
pH Antes Coagul.		7,28	7,28	7,29	6,62	7,25	6,62	7,28	7,28	7,29	7,67	7,25	6,86
pH Após Coagul.			6,27		6,41		6,42		6,27		6,60		7,67
Alumínio Residual	mg/L	0,09	0,02		0			0,09	0,03		0		
Condutividade	µS/cm	82	122,5	75,1	81	77,2	104,1	82	120	75,1	88,4	77,2	97,7
Ferro Total	mg/L	4,98	0,05	2,57	0			4,98	0,01	2,57	0		
Sólidos Sediment.	mL/L	0,5	11	0,9	3	0,1	0,9	0,5	10,3	0,9	5	0,1	0,4
Sól. Tot. Dis. (TDS)	mg/L	41,1	61,3	37,1	40,8	38,7	52,1	41,1	60	37,1	44,2	38,7	48,9

Quadro 8: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho

	UNIDADES	CLORETO FÉRRICO						SULFATO FÉRRICO					
		Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados	Água Bruta	Resultados
Dos. Coagulante	mg/L		19		12		14		30		24		18
Grad. Mist. Rápida	S-1 120 rpm		110		110		110		110		110		110
Grad. Mist. Lenta	S-1 62/46rpm		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35		50/35
Tempo Mist. Rápida	Minutos		1		1		1		1		1		1
Tempo Mist. Lenta	Minutos		10		10		10		10		10		10
Tempo Dec. na Cuba	Minutos		15		15		15		15		15		15
T. Dec. Cone Imhof	Minutos	30	30		30		30	30	30		30		30
Turbidez	NTU	806,00	0,73	246,00	3,21	31,60	2,41	806,00	1,68	246,00	2,7	31,60	1,27
Cor	UC	2172	6	940	7	155	11	2172	10	940	7	155	8
pH Antes Coagul.		7,28	7,58	7,29	7,67	7,25	6,85	7,28	6,58	7,29	7,18	7,25	6,55
pH Após Coagul.			5,96		6,46		5,45		4,42		6,39		5,95
Alumínio Residual	mg/L	0,09			0			0,09			0		
Condutividade	µS/cm	82	112,4	75,1	91,9	77,2	95,9	82	116,9	75,1	85,1	77,2	92,5
Ferro Total	mg/L	4,98	0,05	2,57	0,01			4,98	0,2	2,57	0,01		
Sólidos Sediment.	mL/L	0,5	10,6	0,9	4,5	0,1	0,7	0,5	10	0,9	0,5	0,1	0,2
Sól. Tot. Dis. (TDS)	mg/L	41,1	56	37,1	46	38,7	51,4	41,1	58,4	37,1	42,8	38,7	46,2

Quadro 9: Comparativo para os reagentes em cada turbidez de trabalho.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Nesta pesquisa, os objetivos são: a diminuição da quantidade de lodo gerado, o estudo da performance dos coagulantes que constam na tabela da figura nº 8, a produção de água decantada com melhores qualidades físico-química.

Com os resultados obtidos em reator estático podemos concluir:

- Com turbidez da água bruta baixa (31,6 NTU), os coagulantes Flocculan e Sulfato Férrico, removeram mais turbidez e cor. Para menor quantidade de lodo produzido, obteve-se melhor resultado com o Sulfato Férrico.
- Com uma turbidez de 246 NTU, os coagulantes, Flocculan e Sulfato Férrico, obtiveram melhores resultados na remoção de turbidez e cor. Quanto a menor produção de lodo o Sulfato Férrico obteve maior eficiência.
- Com uma turbidez da água bruta alta, 806 NTU, os coagulantes, Sulfato Férrico, Cloreto Férrico, Flocculan e Polifloc 7%Fe₂O₃ mais 2% de Al₂O₃, obtiveram os melhores resultados quanto a remoção de cor e turbidez. O polieletrólito catiônico médio foi muito eficiente na remoção de turbidez, porém quanto a cor não obteve a mesma performance. Em se referindo ao índice que mais interessa à este trabalho, ou seja, a baixa produção de lodo, o Polieletrólito catiônico médio, obteve excelente resultado.

Conclui-se também que os sais a base de íon ferro férrico são mais eficientes, que os demais coagulantes, porém exigem um pH menor. O coagulante orgânico sintético (Polieletrólito catiônico médio) tem sua eficiência em turbidez elevada.

Quanto às dosagens conclui-se que, o coagulante Policloreto de Alumínio, com o aumento da turbidez da água bruta houve uma diminuição em sua dosagem. Os coagulantes Floculan e Cloreto Férrico sofrem pouca variação, em sua dosagem, com o aumento de turbidez. O coagulante Sulfato Ferroso não obteve eficiência com a água em estudo

5.2 Recomendações

Para o desenvolvimento de futuros trabalho relacionado com os coagulantes que foram usados, recomenda-se:

- usar reator piloto, com estudos de pelo menos 1 mês para cada reagente e que se atinja todas as variações possíveis de turbidez e cor;
- que se faça uso de um coagulante orgânico antes do inorgânico, pois o rendimento deverá melhorar;
- a verificação dos sólidos totais dissolvidos deverão ter maior atenção;
- estudo detalhado de toxidez para cada reagente;
- estudar concentrações ideais de aplicação, bem como ponto de aplicação;
- estudar os gradientes e tempos para vários reagentes antes do projeto, final de uma ETA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

A. NETTO, J. M. et al. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**. São Paulo: CETESB, 1976. vol. II.

ASSOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL. Curso de Actualizacion en Operacion de Plantas de Potabilizacion de Águas, Santiago de Cali. Colombia, 1987.

BAIN, W. Mc James (Trad.). **Sanromá Nicolau, Ciencia de los coloides física química y teoria, (M C M L V I)**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S. A.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. vol. 1.

HAMMER, M. J. **Sistemas de abastecimento de Água e Esgotos**. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

HUDSON Jr., H. E. **Water Clarification Processes: practical design and evolution**. Van Nostrand Reinhold company, 1981.

HUNTER, R. J. **Introduction to Modern Colloid Science**. Oxford : Bookcraft ,1993

LEME, F. P. **Teoria e Técnicas de Tratamento de Água**. São Paulo : CETESB, 1979.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. Subba, Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa Oleifera Seeds. **Water Ressearch**, v. 32, n. 3, p. 781-791, 1997.

PAULING, Linus. **Química geral**. Rio de Janeiro: Livro Tecnico, 1969.2v.

RICHTER, C.; A. NETTO, J. M. **Tratamento de Água: tecnologia Atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

SANTOS FILHO, F. Tecnologia de Tratamento de Água para a Indústria. São Paulo: Nobel, 1973.

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION FOR WATER AND WASTEWATER 19. ed. 1995.

WEBER, W. J. **Physico-chemical Processes for Water Quality Control.** Canada: John Wiley e Sons Inc., 1972.