



Universidade  
Estadual da  
Paraíba

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**RONDINELE NUNES DE ARAUJO**

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO  
UTILIZANDO A ÁGUA DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA COM DIFERENTES  
AGENTES COAGULANTES**

**CAMPINA GRANDE**

**2016**

**RONDINELE NUNES DE ARAUJO**

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO  
UTILIZANDO A ÁGUA DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA COM DIFERENTES  
AGENTES COAGULANTES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para obtenção do título de graduação em Química Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2016**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A659a Araujo, Rondinele Nunes de.

Avaliação da capacidade de coagulação/floculação utilizando a água do açude Epitácio Pessoa com diferentes agentes coagulantes [manuscrito] / Rondinele Nunes de Araujo. - 2016.  
63 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2016.

"Orientação: Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira, Departamento de Química".

1. Tratamento de água. 2. Coagulantes. 3. Potabilidade. 4. Poluentes. I. Título.

21. ed. CDD 628.166

RONDINELE NUNES DE ARAUJO

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO  
UTILIZANDO A ÁGUA DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA COM DIFERENTES  
AGENTES COAGULANTES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para obtenção do título de graduação em Química Industrial.

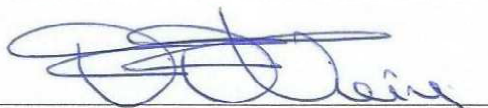
Aprovada em 25 de Maio de 2016 NOTA: 10,0 (DEZ)

BANCA EXAMINADORA



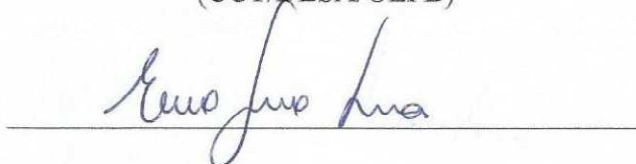
Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira (Orientador)

(CCT/DQ/UEPB)



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira

(CCT/DESA/UEPB)



Pesq. Msc. Erivaldo Genuíno Lima

(CCT/UAEQ /UFCG)

CAMPINA GRANDE – PB

2016

Á Deus, aos meus pais, Severino Nunes de  
Araújo e Maria Goreth de Araújo.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter proporcionado tudo que vem acontecendo em minha vida, pois somos meros sonhadores e somente Deus é o construtor, onde no seu tempo ele tornará aquele nosso sonho possível de conquistar, é lógico que cabe a cada um não ficar parado e sim buscar realizar nossos projetos. E isso é fato em minha vida, pois ao concluir esse trabalho alcançarei o título que tanto almejo que é o de Químico Industrial.

Os meus pais: Severino Nunes de Araujo e Maria Goreth de Araujo. Pessoas simples onde não medem esforços para dar uma vida melhor para seus filhos. Onde me ensinaram valores que irei carregar por toda minha vida, esse título de Químico é o mínimo de recompensa que posso devolver. Nunca irei conseguir retribuir a altura todo o esforço que eles tiveram comigo, mesmo assim vou me esforçando ao máximo para ser um filho que eles possam se orgulhar.

Ao professor orientador Doutor Rodrigo José de Oliveira, onde aceitou minha proposta mesmo não sendo na sua área de atuação, tal ato mostra o quanto ele valoriza o trabalho e não mede esforços em desvendar algo que não seja do seu conhecimento.

Aos Nelsons, Bruno Targino e Thomas Souto, juntos desde o segundo período, e nesse tempo tive tanta raiva com as brincadeiras desses dois, mesmo assim passaria por todas elas novamente.

Ela merece um parágrafo exclusivo, minha fiel companheira e escudeira Jéssica Prissila, onde até hoje tira meu couro com a proeza que fiz em cálculo III. Foram muitas tardes de estudos juntos e sem contar na inseparável dupla nas apresentações, com esta interação covalente, adquiri um enorme carinho com esta danada, espero que nossa amizade se estenda até onde os nossos caminhos nos velarem.

Aos Iluminados em Cristo, uma família que Deus me concedeu e em especial ao meu irmão mais velho Doutor Erivaldo, uma pessoa é um exemplo de como ser cristão e conseguir seguir uma carreira acadêmica tão pesada e apesar disso não deixa de servir a Deus com todo amor e força

Devo mencionar aqui também o P1 e P2, Plínio e Júnior, grandes amigos que Deus me concedeu. Onde eles não negaram em ajudar com a operação “pipa” onde sobrou para eles para carregar os recipientes de 20 litros de água para a realização da parte experimental desse trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Análises de Água, onde desenvolvi parte de minha formação acadêmica, onde adquiri conhecimentos na área de tratamento de água. Agradeço também ao subgerente de tratamento e controle de qualidade Dr. Niwton Bonifácio que liberou a realização da parte experimental deste trabalho.

Viver é enfrentar um problema atrás do outro.  
O modo que você encara é o que faz a  
diferença”. *Benjamin Frankli*



## RESUMO

A água é uma fonte indispensável para os seres vivos, e para o consumo humano deve apresentar características químicas, físicas, biológicas e organolépticas de acordo com as normas estabelecidas na portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da saúde. Podemos encontrar diversas impurezas presentes na água, como por exemplo partículas em suspensão e partículas coloidais, gerando cor e turbidez. Portanto, surge a necessidade de um tratamento de coagulação/floculação também conhecido como tratamento de clarificação, para remoção dessas partículas. Lembrando que as remoções das bactérias seguem os mesmos princípios das partículas coloidais em suspensão, onde elas são desestabilizadas com a adição do coagulante. Para realização desta pesquisa foram coletadas amostras de água do manancial Epitácio Pessoa localizado na cidade de Boqueirão – PB, onde estudou-se a eficiência de três diferentes tipos de coagulantes (sulfato de alumínio, sulfato férrico e P.A.S.), foram preparadas soluções numa concentração de 1 % (m/v) em relação aos produtos comerciais, no processo de coagulação/floculação utilizando o equipamento (Jar Test), apresentando uma variação de 1 a 6 ml na dosagem dos coagulantes. O agente coagulante sulfato de alumínio apresentou os melhores resultados na remoção de cor e turbidez devido a desestabilização das partículas coloidais, porém este coagulante apresentou maior perturbação no pH acidificando o meio devido a formação de ácido carbônico em pequena fração. O agente coagulante P.A.S. apresentou valores semelhantes na remoção de cor e turbidez em relação ao sulfato de alumínio com uma perturbação no pH mais branda. O agente coagulante sulfato férrico apresentou pouca remoção na turbidez além de gerar coloração característica do íon férrico. Foi possível comprovar que a carga microbiana pode precipitar no processo de coagulação.

**Palavras chaves: Coloides; Potabilidade; Poluentes; Modelos de dupla camada elétrica.**

## **ABSTRACT**

Water is an indispensable source for living beings, and for human consumption must present chemical, physical, biological and organoleptic characteristics according to the rules established in the ordinance nº 2.914, of December 12, 2011 the health ministry. We can find various impurities in the water, such as particulate matter and colloidal particles, generating color and turbidity. Therefore, the need arises for a treatment of coagulation/flocculation also known as clarification treatment, for removal of these particles. Nothing that the removal of bacteria following the same principles of colloidal particles in suspension. Where they are destabilized by the addition of coagulant. To perform this research water samples were collected from Eptácio Pessoa source located in Boqueirão – PB, where he studied the efficiency of three different types of coagulants (aluminum sulfate, ferric sulfate and P.A.S.) in the process of coagulation/flocculation using (jar test) equipment, presenting a variation of 1 to 6 ml in the dose of coagulants. The coagulating agent aluminum sulfate presented best results in removing color and turbidity due to destabilization of the colloid particles however this coagulant showed greater disruption in pH. The agent coagulant P.A.S. presented similar values in removing color and turbidity compared to aluminum sulfate, with a disturbance in milder pH. The coagulant agent ferric sulfate presented ha little removal in turbidity and generate characteristic color of the ferric ion. Was possible to prove that the microbial charge may precipitate in the coagulation process.

**Keywords: Colloids; Potability; Pollutants; Models of electric double layer.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Esquema da Molécula da água .....   | 18 |
| <b>Figura 2:</b> Formação das pontes de Hidrogênio .....   | 19 |
| <b>Figura 3:</b> Distribuição de água no planeta .....   | 20 |
| <b>Figura 4:</b> Distribuição de água doce superficial entre os continentes .....                                | 21 |
| <b>Figura 5:</b> Distribuição de água doce superficial no continente Americano .....                             | 21 |
| <b>Figura 6:</b> Distribuição do tamanho das impurezas contidas na água .....                                    | 22 |
| <b>Figura 7:</b> Modelo da dupla camada elétrica de Helmholtz .....  | 24 |
| <b>Figura 8:</b> Modelo da dupla camada segundo Gouy e Chapman .....   | 25 |
| <b>Figura 9:</b> Comportamento da concentração de íons com a distância, segundo o modelo de Gout e Chapman ..... | 26 |
| <b>Figura 10:</b> Modelo de Stern para a dupla camada .....  | 27 |
| <b>Figura 11:</b> Formação da dupla camada elétrica .....  | 28 |
| <b>Figura 12:</b> Variação da energia em função da distância de separação .....                                  | 30 |
| <b>Figura 13:</b> Equipamento Jar Test .....   | 34 |
| <b>Figura 14:</b> Bombas de captação de água flutuantes .....  | 43 |
| <b>Figura 15:</b> Fluxograma do processo de coagulação/floculação .....  | 44 |
| <b>Figura 16:</b> Equipamento Jar Test.....  | 45 |
| <b>Figura 17:</b> Colorímetro digital .....  | 45 |
| <b>Figura 18:</b> Turbidímetro digital.....  | 46 |
| <b>Figura 19:</b> pHmetro.....   | 46 |
| <b>Figura 20:</b> Câmara específica para inoculação .....  | 47 |
| <b>Figura 21:</b> Adição do meio de cultura e transferência para cartela Quant - Tray.....                       | 47 |
| <b>Figura 22:</b> Seladora .....   | 48 |
| <b>Figura 23:</b> Estufa.....  | 48 |
| <b>Figura 24:</b> Cartela Quant - Tray com amostra para leitura de C.T. ....                                     | 49 |
| <b>Figura 25:</b> Cartela Quanty - Tray com amostra para leitura de E. Coli .....                                | 49 |
| <b>Figura 26:</b> Sulfato de alumínio (A), sulfato férrico (B), P.A.S. (C).....                                  | 50 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1:</b> Classificação das dispersões coloidais.....                      | 23 |
| <b>Tabela 2:</b> Parâmetros para água na saída do tratamento .....                | 37 |
| <b>Tabela 3:</b> Parâmetros para amostras coletadas na rede de distribuição ..... | 37 |
| <b>Tabela 4:</b> Padrão microbiológico da água para consumo humano .....          | 38 |
| <b>Tabela 5:</b> Valor máximo dos padrões de potabilidade.....                    | 38 |
| <b>Tabela 6:</b> transformação da contagem dos positivos em NMP .....             | 63 |
| <b>Tabela 7:</b> Resultados da caracterização inicial da água.....                | 63 |
| <b>Tabela 8:</b> Resultados obtidos para o coagulante sulfato de alumínio.....    | 64 |
| <b>Tabela 9:</b> Resultados obtidos para o coagulante sulfato férrico.....        | 64 |
| <b>Tabela 10:</b> Resultados obtidos para o coagulante P.A.S.....                 | 65 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                          | 15 |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....                           | 17 |
| 2.1 Geral.....                                      | 17 |
| 2.2 Específicos .....                               | 17 |
| <b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA</b> .....               | 18 |
| 3.1 ÁGUA.....                                       | 18 |
| 3.2 DISTRIBUIÇÃO.....                               | 20 |
| 3.3 POLUENTES.....                                  | 22 |
| 3.4 DISPERSÕES COLOIDAIIS.....                      | 22 |
| 3.5 MODELOS DE DUPLA CAMADA ELÉTRICA.....           | 23 |
| 3.5.1 Modelo de Helmholtz .....                     | 24 |
| 3.5.2 Modelo de Gouy e Chapman .....                | 25 |
| 3.5.3 Modelo de Stern .....                         | 26 |
| 3.5.4 <i>Teoria DLVO</i> .....                      | 29 |
| 3.6 ETAPAS DE TRATAMENTO REALIZADAS NA ETA .....    | 30 |
| 3.7 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO .....                     | 32 |
| 3.8 TESTE DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO (JAR TEST) ..... | 34 |
| 3.9 TIPOS DE COAGULENTES .....                      | 35 |
| 3.9.1 Sulfato de alumínio.....                      | 35 |
| 3.9.2 Sulfato férrico .....                         | 36 |
| 3.9.3 P.A.S (Poli sulfato de alumínio).....         | 36 |
| 3.10 PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA .....             | 37 |
| 3.11 PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE .....       | 39 |
| 3.11.1 Cor .....                                    | 39 |
| 3.11.2 Turbidez.....                                | 39 |
| 3.11.3 pH .....                                     | 40 |
| 3.11.4 Alcalinidade .....                           | 40 |
| 3.11.5 Coliformes totais e E.Coli .....             | 41 |
| <b>4. METODOLOGIA</b> .....                         | 43 |
| 4.1 Amostragem.....                                 | 43 |
| 4.2 Ensaio do Jar Test .....                        | 44 |
| 4.3 Caracterização da água.....                     | 45 |
| 4.3.1 Cor aparente.....                             | 45 |
| 4.3.2 Turbidez.....                                 | 46 |
| 4.3.3 pH .....                                      | 46 |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.3.4    | Coliformes totais e E.coli (teste quantitativo) ..... | 47        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                   | <b>50</b> |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                     | <b>58</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                              | <b>60</b> |
|          | <b>ANEXOS.....</b>                                    | <b>63</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A água ocupa aproximadamente 75% da superfície da Terra e é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, integrando aproximadamente dois terços do corpo humano e atingindo até 98% em certos animais aquáticos, legumes, frutas e verduras. Diversas características das águas naturais advêm da capacidade de dissolução, diferenciando-as pelas características do solo da bacia hidrográfica (LIBÂNIO, 2008).

No meio aquático podemos encontrar diversas impurezas, como exemplo as partículas coloidais cujo tamanho pode variar de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  mm, essas partículas não sedimentam naturalmente devido a repulsão entre si gerado pelas interações entre as duplas camadas elétricas de cada partícula em solução, gerando cor e turbidez (JUNIOR, 1999).

Com o avanço dos estudos sobre partículas coloidais, diversas pesquisas vêm sendo estudadas relacionando modelos da formação da dupla camada elétrica que envolve um coloide, onde teve início com Helmholtz elaborando um modelo bastante simples onde a dupla camada elétrica apresentava-se de forma rígida em torno da partícula. Gouy e Chapman deram continuidade mostrando que a espessura da camada seria variável e devido a interações eletrostáticas, alguns íons apresentam-se a uma certa distância da superfície da partícula. Por fim, Stern utilizou dos modelos propostos por Helmholtz e Gouy-Chapman para desenvolver seu modelo mais complexo, onde conseguiu explicar as limitações dos modelos anteriores (PANDOCHI, 2009).

Devido a presença de diversas impurezas, a água para ser consumida precisa ser submetida a um rigoroso processo de tratamento em estações bem planejadas, onde geralmente passam por um processo de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (FUNASA, 2014).

O processo de coagulação consiste em adicionar um agente coagulante na água causando a desestabilização das partículas do meio, para isso faz necessário uma adição rápida com uma velocidade de rotação adequado para garantir uma uniformidade na distribuição do coagulante na água. O processo de floculação consiste numa agitação mais lenta com o intervalo de tempo maior, garantindo o choque entre as partículas desestabilizadas ocasionando a formação de flocos, onde adquirem peso e dimensão considerável e por consequência disso, sedimentam-se (PAVANELI, 2001).

Existem equipamentos que auxiliam nos ensaios de coagulação e floculação, devido a capacidade de controlar a velocidade de rotação garantindo a quantificação da dosagem ótima do coagulante empregado no processo, como também avaliar a influência do coagulante no pH (FUNASA, 2014).

Nas estações de tratamento de água, utilizam-se os sais de alumínio e ferro (III) como coagulantes devido a fácil obtenção desses produtos e também por serem mais acessíveis quando relacionados com o preço (MAIA, 2003). Entretanto existem pesquisas visando desenvolver novos produtos para serem empregados na função de agentes coagulantes como exemplo o P.A.S desenvolvido pelo grupo BAUMINAS.

Após o processo de tratamento, a água deve apresentar uma conformidade nos parâmetros exigidos pelo ministério da saúde através de sua portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, onde estabelece limites aceitáveis para água de consumo humano.

Diante do exposto, este trabalho teve como motivação e objetivo avaliar o processo de coagulação/floculação utilizando como agentes coagulantes o sulfato de alumínio, sulfato férrico e P.A.S. tendo como foco o manancial Epitácio Pessoa, localizado na cidade de Boqueirão – PB.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Avaliar a capacidade de coagulação/floculação, utilizando a água do açude Epitácio Pessoa com diferentes tipos de agentes coagulantes: Sulfato de alumínio, sulfato férrico e P.A.S.

### 2.2 Específicos

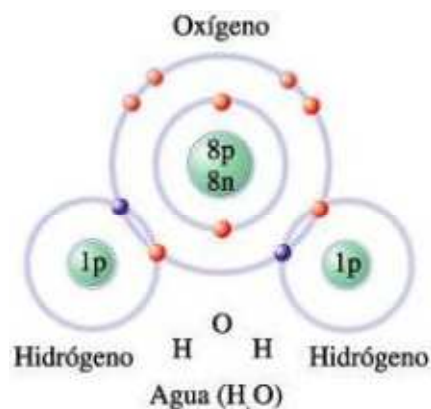
- ✓ Realizar coletas em pontos estratégicos de água no manancial Epitácio Pessoa;
- ✓ Realizar a caracterização das amostras de água analisando a alcalinidade, cor, turbidez, pH, Coliformes Totais e Escherichia Coli;
- ✓ Realizar ensaios de coagulação/floculação variando a dosagem dos coagulantes (Sulfato de alumínio, sulfato férrico e P.A.S.) utilizando o Jar Test;
- ✓ Quantificar a carga microbiológica contidas em suspensão após o processo de coagulação/floculação.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

#### 3.1 ÁGUA

Á água é um solvente inorgânico formado por um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio. Onde oxigênio possui como distribuição eletrônica ( $1s^2 2s^2 2p^4$ ) com isto, ele necessita de mais dois elétrons na sua camada de valência para se estabilizar. O hidrogênio por sua vez tem como distribuição ( $1s^1$ ), logo, é necessário de um elétron para alcançar configuração eletrônica estável. Com isso os dois átomos de hidrogênio ligam-se ao átomo de oxigênio de forma covalente, ocorrendo um compartilhamento de elétrons para se tornarem estáveis (Figura 1), o ângulo formado entre os dois átomos de hidrogênio é de  $104,5^\circ$ , com isto a geometria da molécula da água é angular (ATKINS, 2012).

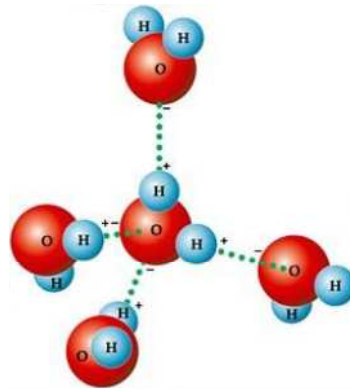
**Figura 1:** Esquema da Molécula da água



**FONTE:** Minhateca (2016)

Analisando a molécula da água, percebe-se que a mesma apresenta dois pares de elétrons não compartilhados, logo a molécula apresenta uma superfície carregada eletricamente. Isto faz com que a molécula atue como um ímã, onde os pares não compartilhados atraem o átomo de hidrogênio de outra molécula, este fenômeno é conhecido como ponte de hidrogênio, conforme a Figura 2 (FUNASA, 2014).

**Figura 2:** Formação das pontes de Hidrogênio



**FONTE:** Mundo educação (2016)

Segundo Braga (2005), a densidade da água varia em função da temperatura, concentração de substâncias dissolvidas e a pressão. A partir de testes empíricos verificou-se que a água atinge valor máximo de densidade em 4°C, explicando o congelamento superficial de um rio, logo a água que atinge o ponto de congelamento a 0°C é mais leve em relação a porção mais profunda que possui uma densidade maior pelo fato de se apresentar próximo a 4°C (FUNASA, 2014).

Segundo Carvalho (2010), a água possui um elevado calor específico, podendo liberar ou absorver grandes quantidades de calor, com uma variação relativamente pequena na sua temperatura. Logo podendo definir o calor específico como uma quantidade de energia necessária, por unidade de massa, para elevar a temperatura de algum material (FUNASA, 2014).

Segundo a portaria n°. 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde define às águas como sendo:

- Água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;
- Água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta portaria e que não ofereça riscos à saúde;
- Água tratada: água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade.

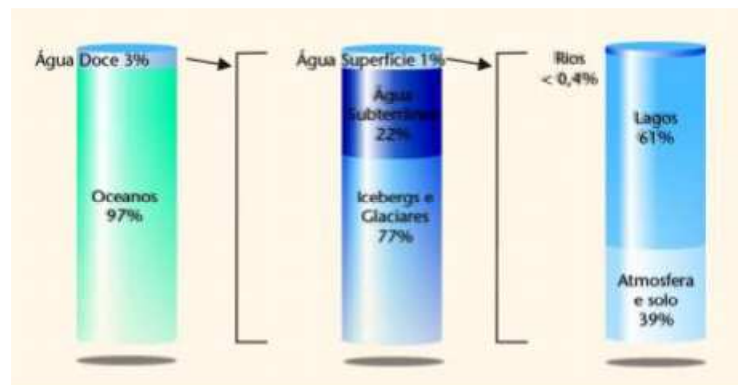
De acordo com a portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da saúde a água potável deve obedecer a certas características químicas, físicas, organolépticas e biológicas.

- Químicas – não conter substâncias nocivas ou tóxicas acima da tolerância para o homem;
- Físicas – ter aspecto agradável (límpido ou claro), não possuir cor e turbidez acima dos padrões estabelecidos pela portaria 518/2004;
- Organolépticas – não possuir odor e sabor indesejável;
- Biológicas – não conter micro-organismos patogênicos.

### 3.2 DISTRIBUIÇÃO

A água ocupa cerca de 4/5 da superfície terrestre, deste total 97 % é água salgada, 3% de água doce, onde 77% estão nas geleiras, 22% águas subterrâneas e 1% águas superficiais (Figura 3), 39% desta água superficial é encontrada na atmosfera e solo e 61% apresentam-se em formas de lagos (BRAGA et al, 2005. BARROS et al, 1995).

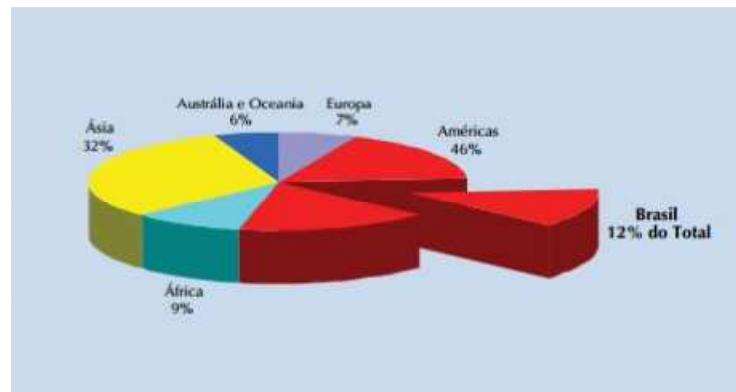
**Figura 3:** Distribuição de água no planeta



**Fonte:** ANA (2007)

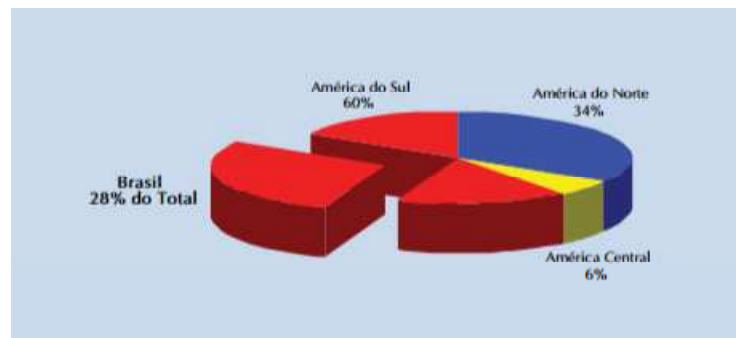
Segundo o levantamento feito pela Agência nacional de águas (ANA) em janeiro de 2007 (Figura 4) mostra a distribuição da água doce superficial entre os continentes, como também ilustra a distribuição de água doce superficial no continente Americano conforme a Figura 5.

**Figura 4:** Distribuição de água doce superficial entre os continentes



**Fonte:** GEO Brasil, recursos hídricos. ANA (2007)

**Figura 5:** Distribuição de água doce superficial no continente Americano



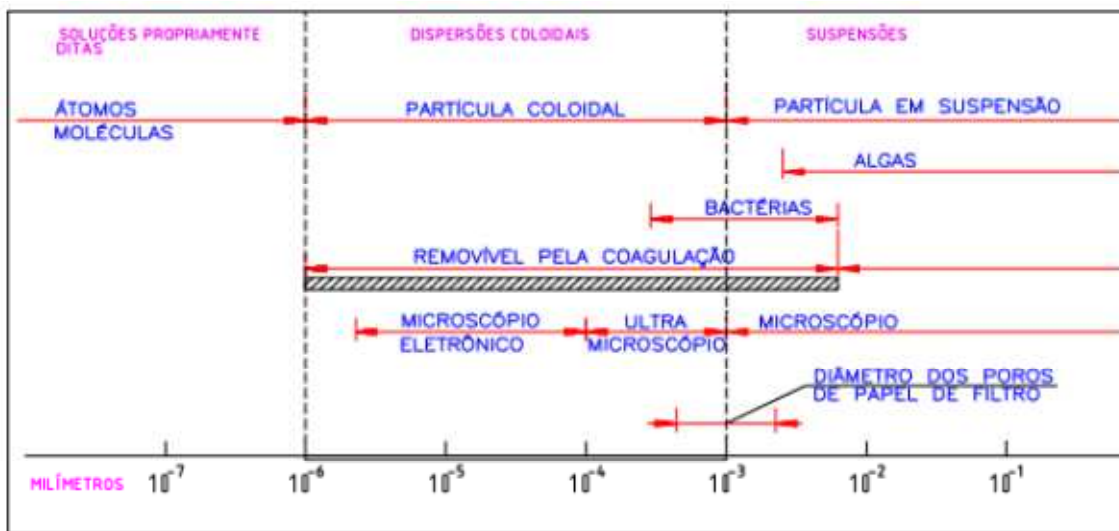
**Fonte:** GEO Brasil, recursos hídricos. ANA (2007)

Segundo o Atlas Brasil (2010), o estado da Paraíba possui 223 municípios, onde 76% dessas sedes urbanas são abastecidas exclusivamente por mananciais superficiais, com predomínio de açudes, 16% são supridas exclusivamente por águas subterrâneas e 8% são abastecidas pelos dois tipos de mananciais, superficial e subterrânea. Onde os principais açudes das bacias dos rios Piranhas-Açu e Paraíba são o açude de Coremas – Mãe d'Água, com capacidade de 1.358.000.000 m<sup>3</sup>, localizado na sub bacia do rio Piancó, pereniza o rio Piranhas. O açude Epitácio Pessoa localizado na cidade de Boqueirão – PB, com capacidade de 411.686.287 m<sup>3</sup>, da bacia do rio Paraíba, é o manancial integrado que abastece a cidade de Campina Grande e do sistema adutor do Cariri.

### 3.3 POLUENTES

A água por ser considerada o solvente universal, facilmente é encontrado uma variedade de impurezas em solução. Nas águas superficiais podemos encontrar: sólidos dissolvidos em forma ionizada, gases dissolvidos, compostos orgânicos dissolvidos e matérias em suspensão como os microrganismos (bactérias, algas e fungos), e coloides (Figura 6). Essas matérias em suspensão apresentam carga superficial negativa, resultando na repulsão entre elas mantendo-se em suspensão estável por longos períodos de tempo (PAVANELLI, 2001).

**Figura 6:** Distribuição do tamanho das impurezas contidas na água



**Fonte:** CEPIS (1973)

No retângulo pontilhado representa as partículas coloidais cujo tamanho pode variar de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  mm, devido ao seu tamanho e repulsão entre essas partículas no meio aquoso, é de difícil remoção por apenas um processo de sedimentação ou decantação, logo para precipitar tais partículas é preciso da adição de substâncias químicas chamados de coagulantes capazes de desestabilizar essas partículas (PAVANELLI, 2001).

### 3.4 DISPERSÕES COLOIDAIS

As dispersões coloidais são misturas heterogêneas mesmo se apresentando de forma homogênea visualmente, devido o tamanho das partículas. Essas misturas são compostas por duas fases, a primeira é chamada de dispersante onde equivale ao solvente e a segunda é

chamada de disperso que corresponde ao soluto (JUNIOR, 1999). Podem existir oito classes de dispersões coloidais conforme a tabela 1 a seguir.

**Tabela 1:** Classificação das dispersões coloidais

| <b>Dispersão coloidal</b> | <b>Disperso</b> | <b>Dispersante</b> | <b>Exemplo</b>          |
|---------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------|
| Aerossol líquido          | Líquido         | Gás                | Neblina,<br>desodorante |
| Aerossol sólido           | Sólido          | Gás                | Fumaça                  |
| Espuma                    | Gás             | Líquido            | Espuma de sabão         |
| Espuma sólida             | Gás             | Sólido             | Isopor                  |
| Emulsão                   | Líquido         | Líquido            | Leite, maionese         |
| Emulsão sólida            | Líquido         | Sólido             | Margarina, pérola       |
| Sol                       | Sólido          | Líquido            | Tinta                   |
| Sol sólido                | Sólido          | Sólido             | Vidro                   |

**Fonte:** Griswold (1972)

As águas superficiais podem ser consideradas como um sistema bifásico (Sólido-Líquido), onde existe alta concentração de partículas coloidais, havendo um movimento desordenado dessas partículas chamado de movimento Browniano. Resultante da atração entre as camadas difusas dos coloides, provinda da força de Van der Waals, e repulsão, devido a força eletrostática ou da dupla camada elétrica (PAVANELLI, 2001).

A força de Van der Waals origina-se na interação de dipolos elétricos atômicos e moleculares, associada as flutuações na densidade eletrônica dos átomos. Segundo Di Bernado (1993), para dois átomos a força atrativa de Van der Waals é inversamente proporcional a sétima potência da distância entre eles, porém, para duas partículas constituídas por um grande número de átomos, as forças atuantes sobre cada par de átomos são aditivas, resultando em uma energia de atração inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as superfícies das partículas.

### 3.5 MODELOS DE DUPLA CAMADA ELÉTRICA

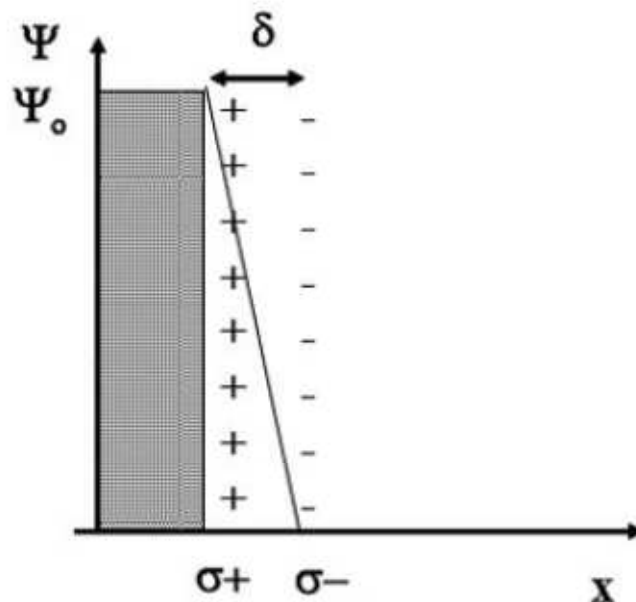
Entende-se como dupla camada elétrica a camada de íons formadas na superfície de partículas carregadas, onde uma parte desses íons apresentam-se fortemente ligados na superfície das partículas, e outra camada de íons cuja a interação com a superfície das partículas sólida são menores devido a distância. Historicamente, diversos cientistas desenvolveram modelos para melhor descrever a formação dessa dupla camada elétrica das

partículas coloidais, destacando-se os modelos de: Helmholtz, Gouy-Chapman e Stern (ALIJÓ, 2011).

### 3.5.1 Modelo de Helmholtz

Foi o primeiro modelo proposto, onde considera que as cargas positivas e negativas se apresentam de forma rígida, onde os íons solvatados contrabalançam as cargas da superfície da partícula, formando uma estrutura similar a um capacitor elétrico plano (Figura 7), originando uma dupla camada compacta onde suas interações não se propagam em solução (PANNO, 2010).

**Figura 7:** Modelo da dupla camada elétrica de Helmholtz



**Fonte:** Pandochi (2009)

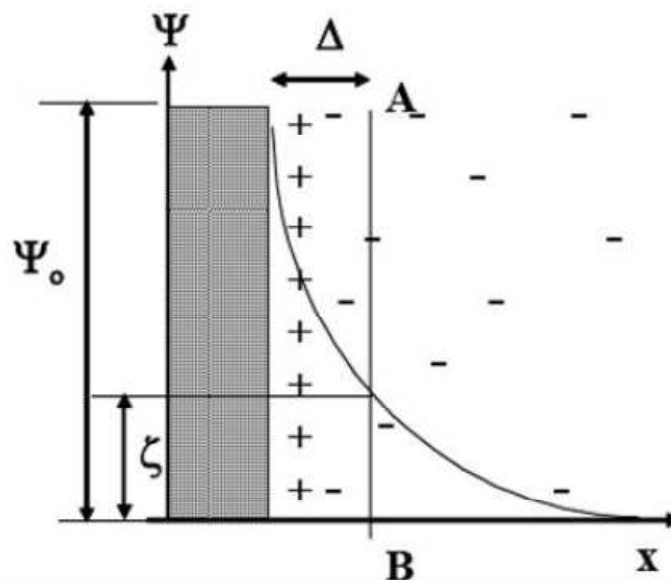
Este modelo contém diversas limitações pois prevê um decaimento linear do potencial eletrostático entre a superfície metálica e os íons adjacentes, considera-se que a capacitância não varia com o potencial aplicado, não leva em conta a adsorção específicas de outras espécies junto ao metal (PANDOCHI, 2009).



### 3.5.2 Modelo de Gouy e Chapman

Gouy e Chapman, independentemente desenvolveram um modelo para a formação da dupla camada, onde seria mais completa em relação ao modelo proposto por Helmholtz, pois este novo modelo leva em consideração o potencial aplicado e a concentração do eletrólito onde influenciam na capacitância da dupla camada. Neste modelo flutuações térmicas afastam os contra-íons da interface, formando uma camada difusa (Figura 8), com isto, a dupla camada deixa de ser compacta e passa a ter espessura variável (NECKEL, 2009).

**Figura 8:** Modelo da dupla camada segundo Gouy e Chapman



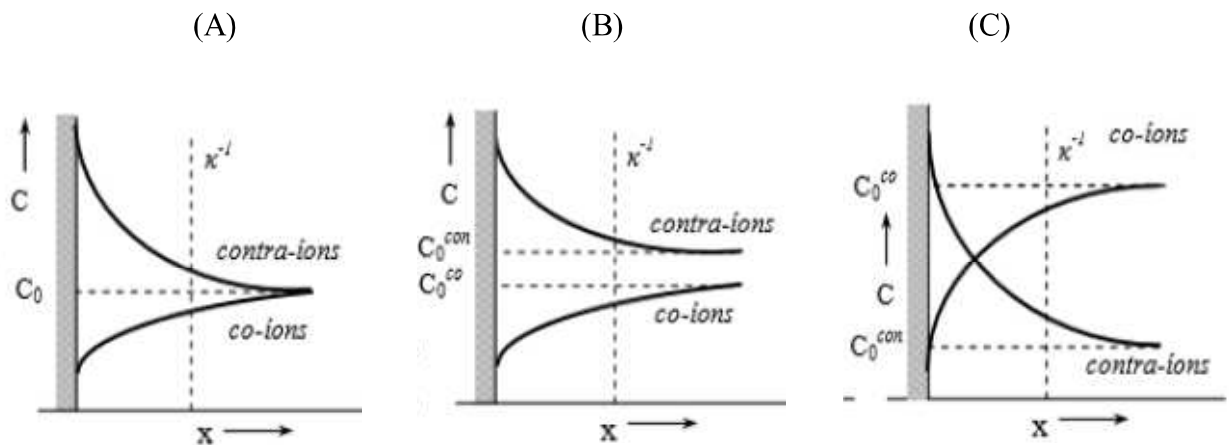
**Fonte:** Pandochi (2009)

Conforme podemos observar na Figura 8, na região mais próxima da superfície, onde existe uma concentração maior de contra-íons, o potencial elétrico decai rapidamente. Nas regiões afastadas da interface, a concentração dos contra-íons diminui devido as formas repulsivas do movimento térmico, com isto ocorre um decaimento gradativo na intensidade do campo elétrico (PANDOCHI, 2009).

Conforme a distância em relação a interface aumenta, a interferência do campo elétrico diminui tornando os íons cada vez mais dispersos, até que a concentração iônica se iguale com a concentração da solução, não sofrendo influência da superfície carregada (SÁ, 2013).

Para eletrólitos simétricos ( $Z_+ = Z_-$ ), as concentrações de co-íons e contra-íons variam com a distância da superfície, até atingir valores iguais a solução (Figura 9A). Quando os eletrólitos são assimétricos ( $Z_+ \neq Z_-$ ) com as cargas de contra-íons maiores que as cargas dos co-íons, possuem o mesmo comportamento, porém atingem concentrações distintas da solução (Figura 9B). Por último caso, eletrólitos assimétricos ( $Z_+ \neq Z_-$ ), sendo as cargas dos contra-íons menores que as cargas dos co-íons (Figura 9C), as concentrações atingem valores distintos seguindo a dissociação do eletrólito (ALIJÓ, 2011).

**Figura 9:** Comportamento da concentração de íons com a distância, segundo o modelo de Gout e Chapman



**Fonte:** Alijó (2011)

Esta teoria proposta por Gouy e Chapman também possuem limitações, pois não consegue explicar o efeito da especificidade iônica, onde diferentes contra-íons de mesma valência afetam de forma distintas na dupla camada elétrica, como também não leva em consideração o tamanho dos íons e despreza qualquer outra interação que não seja eletrostática (PANNON, 2010).

### 3.5.3 Modelo de Stern

Neste modelo proposto por Stern onde combinou as ideias propostas por Helmholtz e Gouy-Chapman, com isto dupla camada elétrica foi dividida em duas partes: uma parte interna chamada de camada de adsorção ou camada de Stern, e uma externa chamada de



valência desses íons, logo uma grande polarizabilidade favorece a contração da dupla camada devido ao aumento das forças de adsorção (NECKEL, 2009).

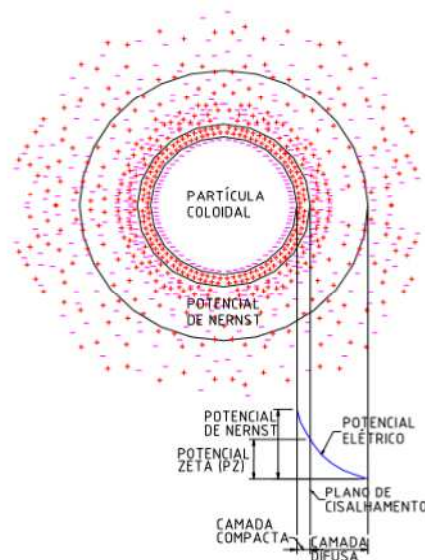
Para íons de mesma carga, a hidratação iônica diminui conforme o aumento do raio iônico, acarretando a contração da dupla camada, pois a hidratação diminui a interação eletrostática com a superfície sólida (SÁ, 2013).

A dupla camada elétrica origina-se na superfície das partículas sólidas coloidais dispersas em solução, ocorrendo a adsorção ou dessorção de íons com cargas eletricamente opostas, sobre a superfície da partícula sólida (PAVANELLI, 2001).

Nas partículas coloidais, estão presentes em sua maioria, cargas negativas, onde atraem uma grande quantidade de íons de carga positiva presentes em solução. Entretanto, devido as limitações de dimensões superficiais das partículas, um número limitado de íons positivos podem ser adsorvidos. Estes íons adsorvidos permanecem de forma rígida na superfície da partícula, formando a camada compacta ou camada Stern (PANDOCHI, 2009).

Após a formação da camada compacta, os íons negativos aproxima-se, arrastando íons positivos, provocando um recobrimento da camada compacta, originando a camada difusa, conforme está apresentado na Figura 11.

**Figura 11:** Formação da dupla camada elétrica



**Fonte:** Di Bernado (1993)

Segundo Kuritza (2012) a presença de um colóide na água implica na formação de um potencial elétrico (potencial de Nernst) que diminui com a distância a partir da superfície do mesmo.

### 3.5.4 Teoria DLVO

Esta teoria foi desenvolvida pelos cientistas russos Derjaguim e Landau juntamente com os cientistas holandeses Verwey e Overbeek. Tal teoria sugere a que a estabilidade de uma suspensão coloidal pode ser descrita pelo balanço das energias de interações atrativas (Van der Waals) com as interações repulsivas (DCE).

A energia total de interação ( $V_t$ ) é a soma das energias de repulsão ( $V_r$ ) e de atração ( $V_a$ ), conforme a equação a seguir:

$$V_t = V_r + V_a \quad \text{I}$$

Onde a energia de atração sofre influência da geometria do sistema, distância entre as superfícies das partículas coloidais ( $D$ ) e o raio dessas partículas ( $R$ ). Para ser calculada é preciso o uso da constante de Hamaker onde seu valor pode variar entre  $10^{-20}$  a  $10^{-19}$  J, conforme a equação a seguir:

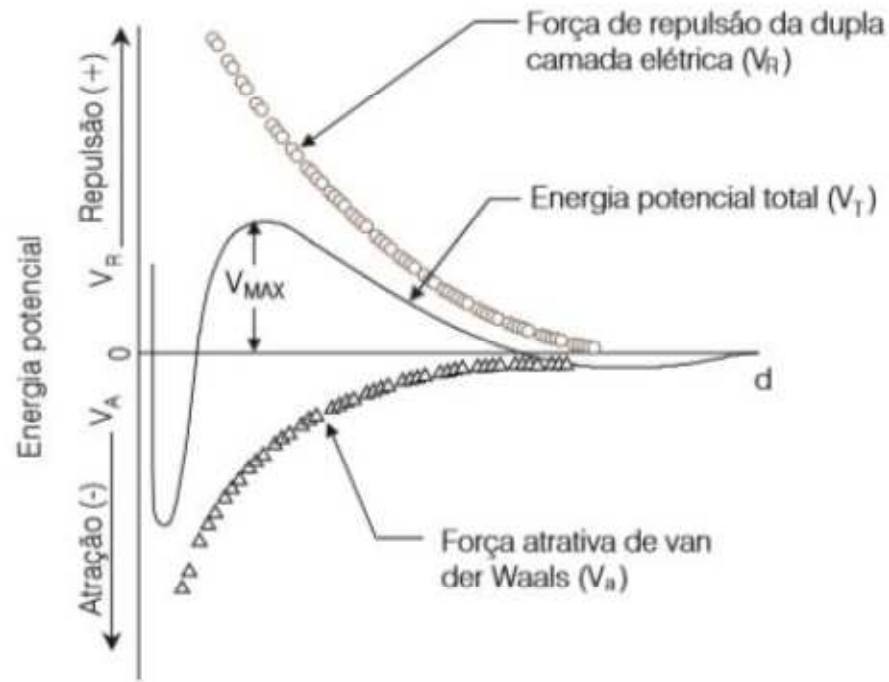
$$V_a = - AR / (12D) \quad \text{II}$$

A energia de repulsão também sofre influência da distância entre as superfícies das partículas coloidais ( $D$ ), raio das partículas ( $R$ ), como também do potencial eletrostático na superfície da partícula ( $\psi_0$ ) e espessura da camada difusa ( $K^{-1}$ ) e permissividade elétrica ( $\epsilon$ ), conforme a equação a seguir:

$$V_r = 4\pi R^2 \epsilon \psi_0^2 \exp(-kD) / (D+2R) \quad \text{III}$$

Com isto, foi possível construir uma curva entre as interações das forças atuantes no sistema coloidal em função da distância entre as partículas, conforme a Figura 12 a seguir:

**Figura 12:** Variação da energia em função da distância de separação



**Fonte:** Junior (1999)

De acordo com a Figura, a banda que representa a energia potencial total ( $V_t$ ) onde é o resultante do somatório das energias atrativas e repulsivas. Onde  $V_t$  apresenta dois pontos característicos, na primeira região é denominada como Mínimo primário, caracterizado pela forte energia de atração devido à proximidade das partículas, essa região é instável, logo ocorre uma aglomeração entre as partículas de forma irreversível, com isto, os flocos formados nessa região não se dissociam sob agitação vigorosa. Podemos distinguir uma segunda região denominada de Mínimo secundário, caracterizado por uma maior energia de atração, mesmo assim ocorrendo o processo de coagulação, porém os flocos formados nessa região possuem uma fraca adesão entre si, podendo se dissociar sob agitação (JUNIOR, 1999; NECKEL, 2009; SÁ, 2013).

### 3.6 ETAPAS DE TRATAMENTO REALIZADAS NA ETA

Segundo FUNASA (2014) E SABESP (2006), as etapas de tratamento realizados na estação de tratamento de água são descritos a seguir:

- **Ajuste do pH:** Para a correção do pH, é comum o uso de Cal (CaO), que pode ser aplicada em três etapas: na pré-alcalinização (água bruta), inter alcalinização (água decantada) e na pós alcalinização (água filtrada).

Na pré-alcalinização ajusta-se o pH de alcalinização, na inter alcalinização a cal auxilia o ajuste do pH final e facilita a remoção de compostos indesejáveis e na pós-alcalinização ajusta-se o pH final da água evitando a corrosão das tubulações.

- **Coagulação:** A coagulação é realizada na unidade de mistura rápida, a qual é adicionada a cal e o sulfato de alumínio.

A água passa por um sistema de grades que impede a entrada de elementos macroscópicos grosseiros (animais mortos, folhas, etc.) no sistema. Parte das partículas está em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução, e por ter dimensões muito reduzidas (como a argila, por exemplo), não se depositam, dificultando a remoção.

- **Floculação:** Após a coagulação a água segue para os tanques de floculação onde é agitada lentamente, para favorecer a união das partículas de sujeira, formando os flocos. Em solução alcalina, o sulfato de alumínio reage com íons hidroxila, resultando em polieletrólitos de alumínio e hidroxila (polications) com até 13 átomos de alumínio. Esses polieletrólitos de alumínio atuam pela interação eletrostática com partículas de argila carregadas negativamente e pelas ligações de hidrogênio devido ao número de grupos  $\text{OH}^-$ , formando uma rede com microestrutura porosa (flóculos).

- **Decantação/ Flotação:** A decantação é o processo no qual se retiram os flocos formados pela agregação de impurezas durante a floculação. Nesta etapa a água não é mais agitada e os flocos vão se depositando no fundo, separando-se da água.

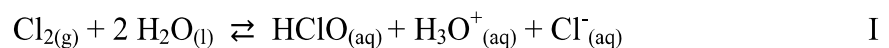
- **Filtração:** A filtração é o processo de remoção de impurezas, na filtração rápida as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante, em contraposição à ação superficial, em que a retenção é significativa apenas no topo do meio filtrante. Independente da condição de filtração, após certo tempo de funcionamento há necessidade da lavagem do filtro. A filtração pode ser realizada com taxa constante ou declinante, dependendo das características de entrada e saída das unidades de uma bateria. No caso da filtração com taxa constante no interior do filtro, de forma que equipamentos de controle podem ou não ser necessários.

Como consequência negativa podem ocorrer a elevação da turbidez e o aumento do número de micro-organismos.

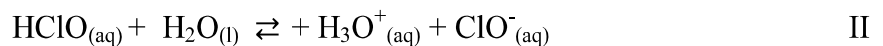
Na estação de tratamento a água oriunda do decantador passa por um filtro de cascalho/areia/antracito (carvão mineral), onde os flocos que não foram decantados na fase anterior ficam retidos, inclusive alguns micro-organismos.

- **Desinfecção:** Esta etapa tem como objetivo a destruição de micro-organismos patogênicos. O produto químico utilizado é o cloro que é aplicado após a etapa de filtração da água. Este produto age de duas formas: **a)** como desinfetante, destruindo ou inativando os micro-organismos patogênicos; **b)** como oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos presentes.

Quando o cloro é adicionado a uma água isenta de impurezas, ocorre a seguinte reação:



Dependendo do pH da água, o ácido hipocloroso (HClO) se ioniza, formando o íon hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ), segundo a reação:



Ambos os compostos possuem ação desinfetante e oxidante; porém, o ácido hipocloroso é mais eficiente do que o íon hipoclorito na destruição dos microrganismos em geral.

### 3.7 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

A coagulação é o processo de desestabilização das partículas coloidais de modo que o crescimento da partícula ocorra em consequência das colisões entre partículas resultante da redução das forças repulsivas entre as partículas com cargas negativas. Os principais mecanismos atuantes na coagulação são: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura, adsorção e formação de pontes (DI BERNADO, 1993).

O processo de coagulação resulta de dois fenômenos, onde o primeiro é essencialmente químico que consiste na reação do coagulante com a alcalinidade da água, onde um dos produtos dessa reação são espécies hidrolisadas com cargas positivas, esta etapa depende da concentração do coagulante e pH final da mistura (BARBOSA,2011).



Após formado as espécies hidrolisadas de cargas positivas, essas espécies entram em contato com a camada difusa do coloide ocorre a compressão da camada difusa, neste mecanismo consistem em desestabilizar as partículas coloidais adicionando íons de carga contrária. Com a grande concentração de íons positivos na camada difusa, ocasionando a redução da mesma mantendo-a eletricamente neutra, reduzindo o potencial elétrico (potencial zeta), com isto, prevalecendo as forças de van der Waals. Logo quanto maior a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida para a coagulação (PAVANELLI, 2001).

Em seguida ocorre uma etapa similar a compressão da camada difusa, porém com dosagens bem inferiores, esta etapa é chamada de adsorção e neutralização de carga, quando adicionamos o coagulante no meio contendo a dispersão coloidal, ocorre interações entre: Coagulante – coloide, coagulante – solvente e colide – solvente, existem espécies químicas que são adsorvidas na superfície das partículas coloidais, como estas partículas são de cargas contrárias a superfície, ocorrerá a desestabilização do coloide (MENDES, 1989).

Dependendo da dosagem do coagulante empregado, pH e concentração de algumas espécies iônicas presentes na água, haverá a formação dos hidróxidos poucos solúveis, na forma de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Estes flocos formados são maiores que os formados pelo processo de adsorção e neutralização de cargas, com isto a velocidade de sedimentação dos flocos formados por esse processo de varredura é maior (DI BERNADO, 1993).

Quando o coagulante empregado conter polímeros sintéticos ou naturais em sua composição, o mecanismo é chamado de Adsorção e formação de pontes, pois esses coagulantes apresentam sítios ionizáveis ao longo de sua cadeia, podendo ser classificados como catiônicos, aniônicos e anfóteros. Tais compostos podem ser utilizados devido a capacidade de ser adsorvido pela superfície da partícula coloidal seguida pela redução da carga ou entrelaçamento das partículas nas cadeias dos polímeros (MENDES, 1989).

Conforme DI BERNADO A.S. (2000), pesquisas mostram que é possível utilizar polímeros catiônicos ou aniônicos para desestabilização de coloides. Logo este mecanismo de adsorção e formação de ponte é exclusivo quando é utilizado polímeros como coagulante.

O segundo processo é essencialmente físico que consiste no transporte das espécies hidrolisadas havendo o contato com as impurezas presentes na água. No geral esse processo é rápido, variando desde décimos de segundos até 100 segundos (MAIA, 2003).

A coagulação depende das características da água e das impurezas presentes, levando em conta os parâmetros: alcalinidade, pH, cor, turbidez, temperatura, condutividade elétrica, tamanho e distribuição das partículas em estado coloidal e em suspensão (DI BERNADO, 2000).

A floculação é um processo em que na agitação lenta ocorrendo choque entre as partículas desestabilizadas, proporcionando condições para a aglomeração destas partículas, formando flocos de dimensões e peso consideráveis, onde são removidas facilmente por um processo de sedimentação (FAGUNDES, 2006).

Segundo Furlan (2008), no processo de floculação as partículas coloidais podem entrar em contato entre si, através de três processos físicos: floculação pericinetica, floculação ortocinética ou sedimentação/flotação diferencial.

Na floculação pericinetica as colisões das partículas ocorrem através do movimento browniano. Na floculação ortocinética, as colisões das partículas são causadas pela turbulência do líquido gerada nas unidades de mistura lenta (floculadores). Na sedimentação/flotação diferencial, a sedimentação das partículas mais densas gera um transporte vertical, acarretando em colisões nas demais partículas (BARBOSA, 2011).

### 3.8 TESTE DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO (JAR TEST)

O equipamento denominado JAR TEST (Figura 13) é utilizado para realizar simulações do processo de coagulação/floculação em uma escala laboratorial.

**Figura 13:** Equipamento Jar Test



**Fonte:** Nova Ética (2016)

As condições ótimas para a coagulação/floculação podem ser determinadas fazendo-se um teste de coagulação onde é realizado no equipamento denominado de JAR TEST. Estes testes podem ser usados para estabelecer o melhor tipo e concentração do coagulante, as condições apropriadas de mistura influenciadas pelo pH do meio (FUNASA, 2014).

### 3.9 TIPOS DE COAGULENTES

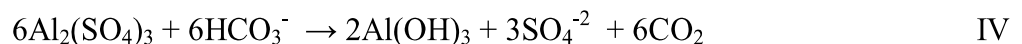
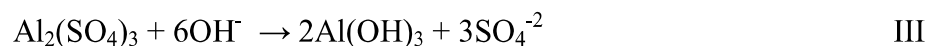
Os principais coagulantes utilizados nas estações de tratamento de água, são os sais de alumínio e ferro (III), em devidas condições podem formar hidróxidos gelatinosos pouco solúveis  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (MAIA, 2003). Atualmente, diversos grupos de pesquisa, buscam a preparação e aplicação de novos compostos que apresentem excelente desempenho como coagulantes, buscando a eficiência e otimização do processo.

#### 3.9.1 Sulfato de alumínio

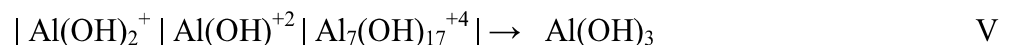
O sulfato de alumínio tem por fórmula química  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , onde 'n' representa aproximadamente 14 a 18 moléculas de água de cristalização.

O sulfato de alumínio líquido é fabricado a partir de hidrato de alumínio, mantendo-se um teor de água suficiente para impedir sua cristalização. Ele é comercializado com 7 a 8% de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), com teores acima de 8,26%, o produto pode cristalizar. Atinge 48,4% de concentração de sua forma sólida.

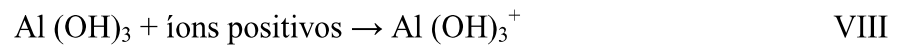
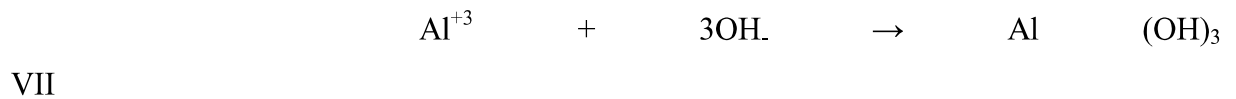
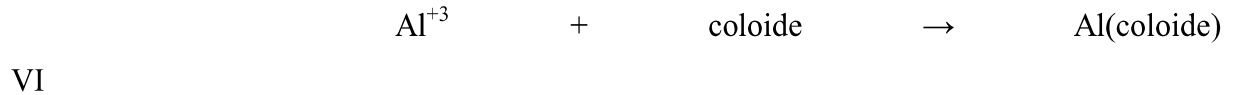
O sulfato de alumínio, reage com a alcalinidade da água formando hidróxido insolúvel:



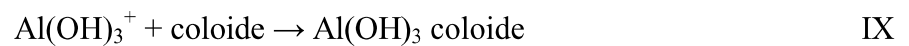
Outras reações de hidrólise do alumínio com a água formam diversas espécies de hidróxidos multivalentes:



Podemos representar de uma maneira prática as reações de neutralização dos colóides carregados negativamente com as moléculas dissociadas do sulfato de alumínio ( $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{SO}_4^{-2}$ ):



Quando formado, o hidróxido de alumínio tem caráter coloidal, com isto ele adsorve íons positivos presentes em solução formando uma espécie de gel carregado positivamente, logo este gel tem a capacidade de neutralizar as partículas coloidais carregadas negativamente.



Os íons de alumínio são trivalentes, logo são mais efetivos comparados com o gel  $\text{Al}(\text{OH})_3^+$  na redução do potencial zeta dos colóides negativos. Para uma melhor eficiência deste mecanismo, o sulfato de alumínio deve ser distribuído de forma rápida e uniforme na solução em questão, com o gradiente de velocidade adequado (CARDOSO, 2003; DI BERNADO, 1993; WEBER, 1972).

### 3.9.2 Sulfato férrico

Na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular comparado ao alumínio, logo seus flocos são mais densos, conseqüentemente o tempo de sedimentação é reduzido significativamente. O sulfato férrico é comercializado em forma granular ou líquida. Apresenta-se como um líquido ácido disponível com uma concentração de 11,5 % em ferro.

### 3.9.3 P.A.S (Poli sulfato de alumínio)

Segundo descrição da empresa responsável pela comercialização, BAUMINAS, o P.A.S. faz parte de uma nova geração de coagulantes inorgânicos com cadeias polimerizadas de alto rendimento. Desenvolvido pelo CTB - Centro Tecnológico BAUMINAS, é isento de ferro e possui alto poder coagulação e floculação.

Onde este coagulante é indicado para estações de tratamento que operam acima do seu limite normal de vazão, pois possui um alto poder de coagulação e floculação com grande velocidade de decantação (BAUMINAS).

### 3.10 PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Nas estações de tratamento as análises físico-químicas são realizadas nas águas brutas, tratadas e nas mesmas durante seu percurso na rede de distribuição, de tal modo para avaliar a eficácia do tratamento da água e com isto garantindo a qualidade da água distribuída aos consumidores.

Estas análises consistem em determinar os respectivos parâmetros: sabor, odor, cor, pH, turbidez, alcalinidade, dióxido de carbono, cloreto, dureza, cálcio, amônia, nitrato, sulfato, condutividade, salinidade, sólido dissolvidos totais (TDS), oxigênio consumido, ferro e manganês.

Os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade estão descritos na Portaria n° 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Os valores dos parâmetros estabelecidos para água na saída do tratamento e os parâmetros para amostras de água coletadas na rede de distribuição, estão descritos nas Tabelas de 2 a 5.

**Tabela 2:** Parâmetros para água na saída do tratamento

| <b>PARÂMETROS PARA ÁGUA NA SAÍDA DO TRATAMENTO</b>   |
|--|
| Ausência de coliformes totais em 100 mL da amostra;  |
| Turbidez, no máximo, 1,0 UT para sistemas com filtração lenta e 0,5 UT para sistemas com filtração rápida; |
| No mínimo 0,5 mg/L de cloro residual livre.  |
| Cor aparente, no máximo, 15 UH   |

**Tabela 3:** Parâmetros para amostras coletadas na rede de distribuição

| <b>PARÂMETROS PARA AS AMOSTRAS COLETADAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO</b> |
|--|
|--|

Ausência de coliformes totais em 100 mL da amostra;  
 No mínimo 0,2 mg/L de cloro residual livre  
 Turbidez, no máximo, 5,0 UT;  
 Cor aparente, no máximo, 15 UH;

**Tabela 4:** Padrão microbiológico da água para consumo humano

| TIPO DE ÁGUA                    |   | PARÂMETROS                             |   | VPM  |
|---------------------------------|---|--|---|--|
| <i>Água para consumo humano</i> |   | <i>Escherichia coli</i> <sup>(2)</sup> |   | <i>Ausência em 100mL</i>   |
|                                 | Na saída do tratamento                            | Coliformes totais <sup>(3)</sup>       |   | Ausência em 100 mL   |
| <i>Água tratada</i>             | No sistema de distribuição (reservatórios e rede) | Coliformes totais <sup>(4)</sup>       | Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem em menos de 20.000 habitantes | Apenas uma amostra, entre as amostras examinada no mês, poderá apresentar resultado positivo |
|                                 |   |  | Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes | Ausência em 100mL em 95% das amostras examinadas no mês.                                     |

**Tabela 5:** Valor máximo dos padrões de potabilidade

| PARÂMETRO                         | UNIDADE | VMP  |
|-----------------------------------|---------|------|
| <i>Sólidos Totais Dissolvidos</i> | mg/L    | 1000 |
| <i>Cloro</i>                      | mg/L    | 250  |
| <i>Dureza Total</i>               | mg/L    | 500  |
| <i>Nitrato</i>                    | mg/L    | 10   |
| <i>Nitrito</i>                    | mg/L    | 1    |
| <i>Amônia</i>                     | mg/L    | 1,5  |
| <i>Sulfato</i>                    | mg/L    | 250  |
| <i>Ferro</i>                      | mg/L    | 0,3  |
| <i>Manganês</i>                   | mg/L    | 0,1  |

A aprovação das normas e padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano é estabelecida pelo Ministério da Saúde, através da Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Para verificação da qualidade da água, o Ministério da Saúde adota preferencialmente as técnicas de coleta e análise que constam no “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater”.

### 3.11 PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE

#### 3.11.1 *Cor*

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas, denominadas coloides, finamente dispersas, de origem predominantemente orgânica e dimensão inferior a 1 µm. Pode também ser resultado da presença de compostos de ferro e manganês ou do lançamento de diversos tipos de resíduos industriais. Quando a cor se manifesta em águas subterrâneas, via de regra é resultado da presença desses compostos de ferro e manganês (LIBÂNIO, 2008).

A cor de uma água é produzida pela reflexão da luz em coloides que são partículas finamente dispersas, de dimensões inferior a 1µm, podendo ser de origem orgânica, como exemplos os ácidos húmicos e fúlvicos, também podendo ser de origem mineral, como exemplo os resíduos industriais, compostos de ferro e manganês (FUNASA, 2014).

#### 3.11.2 *Turbidez*

A turbidez pode ocorrer devido a sólidos em suspensão ou em estado coloidal, presença de zinco, ferro, manganês, areia, argila, efluentes domésticos, industriais ou agrícolas, que reduzem a transmissão de luz necessária ao meio. No tratamento de água, a turbidez muito elevada é um problema, pois dificulta o processo de desinfecção da água filtrada (DENICE, 2009).

A turbidez da água tem grande importância, quando no ambiente aquático predomina processos que dependem da penetração da luz, na medida em que é um dos principais parâmetros para seleção de tecnologia de tratamento e controle operacional dos processos de tratamento (SILVA 2001).

Podemos defini-la como o grau de interferência a passagem de luz através da água, como a turbidez é provocado por partículas em suspensão, seu efeito é reduzido pelo processo

de sedimentação. Esse efeito é expresso por meio de unidades de turbidez, também chamadas de unidades de Jackson ou nefelométricas (FUNASA, 2014).

### 3.11.3 pH

O pH (potencial hidrogeniônico) talvez se constitua no parâmetro de maior frequência de monitoramento na rotina operacional das estações de tratamento, pela interferência em diversos processos e operações unitárias inerentes à potabilização. É determinada em escala antilogarítmica ( $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$ ) compreendendo o intervalo 0 a 14. Valores de pH inferiores a 7 indicam condições ácidas e superiores a 7 condições alcalinas da água natural (LIBÂNIO, 2008).

### 3.11.4 Alcalinidade

A alcalinidade total de uma água é atribuída pelo somatório das diferentes formas de alcalinidades contidas, logo é o somatório da concentração dos hidróxidos, carbonatos de bicarbonatos, seu resultado é expresso em termos de carbonato de cálcio. Também podemos dizer que a alcalinidade de uma água é sua capacidade de neutralizar os ácidos (FUNASA, 2014).

Segundo Silva (2001), a alcalinidade de uma água é a capacidade que esta apresenta para neutralizar ácidos e equivale à soma de todas as bases tituláveis. É uma medida da propriedade da água quando associada a sua capacidade de tamponação e só pode ser interpretada de acordo com substâncias específicas.

O termo alcalinidade pode gerar algumas confusões, logo este termo não significa que o pH do meio apresenta-se superior a 7. Temos exemplos de águas subterrâneas com o pH inferior a 7 que possuem alguns sais capazes de neutralizar ácidos, portanto tais águas possuem uma alcalinidade mensurável (CARVALHO, 2010).

Águas com pH entre 4,4 e 8,3 apresentam alcalinidade devido apenas bicarbonatos, pH entre 8,3 e 9,4 a carbonatos e bicarbonatos, e para pH maior que 9,4 a hidróxidos e carbonatos (LIBÂNIO, 2008).

Geralmente às águas dos mananciais possuem um certo teor de alcalinidade natural de concentração suficiente para reagir com o Sulfato de Alumínio durante o processo de tratamento. Quando a alcalinidade de uma água é muito baixa é necessário adicionar



substâncias alcalinas tais como cal hidratada ou barrilha (carbonato de sódio). Porém, quando a alcalinidade se apresenta muito alta, é necessário realizar um processo inverso, acidificando-se a água, isto visando um teor ideal de alcalinidade para reagir com Sulfato de Alumínio (FUNASA, 2014).

### 3.11.5 Coliformes totais e *E. Coli*

Os Coliformes Totais são um grupo de bactérias contendo bacilos Gram-negativos, podendo ser aeróbios, anaeróbios ou facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativa que fermentam a lactose produzindo gás, ácidos e aldeídos a 35°C num intervalo de 24-48 horas. Neste grupo estão presentes os gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella* (RATTI, 2011).

Os Coliformes fecais ou termo tolerantes são bactérias capazes de desenvolver ou fermentar a lactose com produção de gás a 44°C durante 24 horas. Onde a *Escherichia Coli* é o principal representante deste grupo (FERNANDES, 2015).

A *E. Coli* tem como habitat primário o intestino do homem e de animais de sangue quente, representando 95% das bactérias do grupo Coliformes encontradas nas fezes humanas e de animais. Por ser uma bactéria de fácil isolamento e identificação em água e por seu período de sobrevivência ser semelhante ao dos patógenos mais comuns, a *E. Coli* é considerada a melhor indicadora de contaminação fecal (MARQUEZI et al, 2010).

### 3.11.6 Determinação

Para a determinação desses parâmetros foi utilizado o método substrato cromogênico, definido ONPG-MUG, o qual baseia-se nas atividades enzimáticas específicas dos Coliformes ( $\beta$  galactosidade) e *E. coli* ( $\beta$  glucuronidase). Onde confere resultados confirmativos para a presença de Coliformes Totais e *Escherichia Coli* em 24 horas, desenvolvendo coloração amarela e observação de fluorescência, sem necessidade da adição de outros reagentes para a confirmação.

Segundo Fernandes (2015), Os Coliformes Totais produzem a enzima  $\beta$ -D-galactosidase, para identificação são utilizados substratos capazes detectar essa enzima, produzida por eles. Os substratos são clorofenol vermelho- $\beta$ -D-galactopiranosídeo (CPRG) ou

ortonitrofenil- $\beta$ -D-galactopiranosido (ONPG). A enzima  $\beta$ -D-galactosidase cliva o substrato e produz uma mudança na respectiva coloração (amarelo), o que significa que esse teste positivo para coliformes totais em 24 horas (ONPG) ou 28 horas (CRPG).

Segundo Marquezi (2010) para a detecção de *E. coli*, o substrato MUG sofre a ação da enzima  $\beta$ -glucuronidase, que é típica desta bactéria. Ao sofrer degradação, o MUG libera a 4-metilumbeliferona que, quando exposta a luz ultravioleta, ocorre fluorescência quando a amostra é exposta a luz UV de 365 nm.

Sendo mais específico, foi utilizado o método colilert ou colitag usa uma tecnologia chamada *Defined Substrate Technology* (DST) para analisar simultaneamente coliformes totais e *E. coli*. As principais fontes de carbono no Colitag são: dois nutrientes indicadores, ONPG e MUG os quais são metabolizados pelas enzimas  $\beta$ -D-Galactosidase e  $\beta$ -D-Glucuronídase indicando a presença das bactérias Coliformes Totais e *E. coli* respectivamente.

A principal diferença entre os métodos está na composição do colitag onde a presença do tampão TMAO (óxido de N-trimetilamina), que é trimetilamina. Este composto tem a função de neutralizar o pH baixo, ajudando na recuperação das células danificadas pelo cloro (FERNANDES, 2015).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Amostragem

Para a realização dos experimentos, foram coletadas amostras de água em recipientes de 20 L previamente limpo. O manancial escolhido foi o Eptácio Pessoa situado na cidade de Boqueirão – PB, atualmente o açude se encontra com apenas 10,6% da sua capacidade máxima, logo o ponto escolhido para coletar as amostras foi próximo as bombas flutuantes de sucção (Figura 14). Onde o procedimento de amostragem seguiu conforme o Manual prático de análise de água FUNASA, onde foram selecionados três pontos ao redor das bombas, mergulhando o recipiente aproximadamente 1 metro abaixo da lâmina d'água. Com este procedimento é possível simular a qualidade da água que é bombeada para as estações de tratamento em Boqueirão e Gravatá (próximo a queimadas).

**Figura 14:** Bombas de captação de água flutuantes



**Fonte:** Própria (2016)

As análises foram realizadas no laboratório de análise de água (LAAG), localizado na rua Dr. Vasconcelos, s/n – Alto Branco – Campina Grande – PB, pertencente a Companhia de água e esgotos da paraíba (CAGEPA).

Após a recepção, as amostras foram agitadas manualmente garantindo que toda a matéria suspensa esteja distribuída de forma homogênea na solução. Em seguida foram retiradas alíquotas para a caracterização, onde foram avaliados os parâmetros físico-químicos: alcalinidade, pH, cor e turbidez, onde foram analisados em triplicada. Em seguida foram

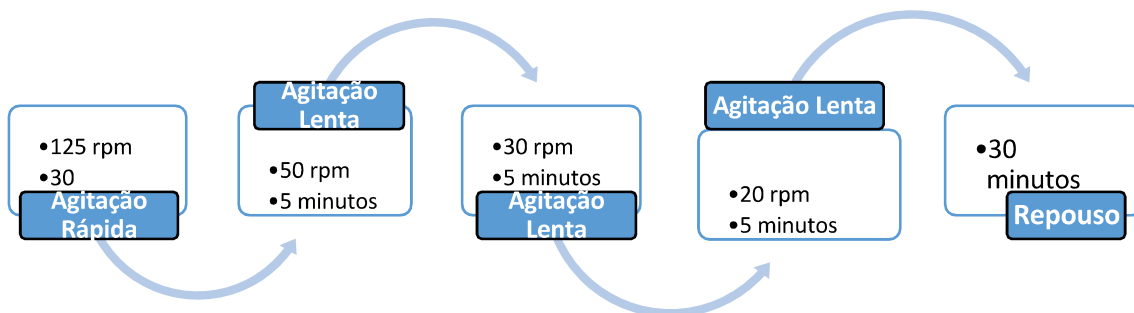
retiradas alíquotas para análise de coliformes totais e E.coli cuja análise não houve repetições, conforme a Tabela 7 em anexo.

#### 4.2 Ensaio do Jar Test

Os coagulantes utilizados foram: sulfato de alumínio, sulfato férrico e P.A.S. Onde o coagulante P.A.S. foi cedido pelo grupo BAUMINAS. Foram utilizados soluções a 1% (m/v) da concentração comercial de cada coagulante no experimento.

Para o ensaio de coagulação/floculação foi utilizado o Jar Test da marca Nova Ética, com 6 jarros (Figura 16), onde em cada jarro foi adicionado 1L da amostra de água a ser analisada, posteriormente foi adicionado o coagulante em cada jarro variando sua dosagem de 1 até 6 ml. As amostras foram agitadas seguindo a metodologia própria desenvolvida na CAGEPA, onde visou reproduzir o processo realizado na estação de tratamento, conforme apresentado no fluxograma abaixo.

**Figura 15:** Fluxograma do processo de coagulação/floculação



**Fonte:** Própria (2016)

O processo ilustrado foi realizado em duplicada para cada coagulante, após a etapa de agitação seguida da sedimentação/decantação, foram retiradas alíquotas para análise de cor, turbidez, pH, coliformes totais e E.coli, para cada coagulante conforme as Tabelas 8, 9 e 10 em anexo.

**Figura 16:** Equipamento Jar Test



**Fonte:** Própria (2016)

### 4.3 Caracterização da água

#### 4.3.1 *Cor aparente*

As análises de cor aparente foram realizadas no colorímetro digital, tal aparelho foi previamente calibrado com os padrões de 500, 100, 10 unidades de cor, também é usado água destilada como padrão em branco. Para realizar a análise faz uso de uma cubeta de vidro, que a mesma é preenchida com a amostra até o traço de aferição, logo após a cubeta é inserida no equipamento e acionado o botão de leitura. Os valores são obtidos de forma direta, conforme a Figura 17.

**Figura 17:** Colorímetro digital



**Fonte:** Própria (2016)

### 4.3.2 Turbidez

O procedimento da análise de turbidez é similar a análise de cor aparente, a amostra de água é inserida na cubeta de vidro, tendo o cuidado em completar o volume até o traço de aferição. A cubeta é inserida no turbidímetro digital previamente calibrado com seus padrões onde será realizada a leitura de forma direta, conforme a Figura 18

**Figura 18:** Turbidímetro digital



**Fonte:** Própria (2016)

### 4.3.3 pH

Esta análise é realizada no pHmetro (Figura 19), o qual é previamente calibrado com as soluções padrões de pH 4, 7, 9. As amostras de interesse foram transferidas para um Becker, que no mesmo é mergulhando um eletrodo, onde obtemos o resultado numa leitura direta do instrumento.

**Figura 19:** pHmetro



**Fonte:** Própria (2016)

#### 4.3.4 Coliformes totais e *E.coli* (teste quantitativo)

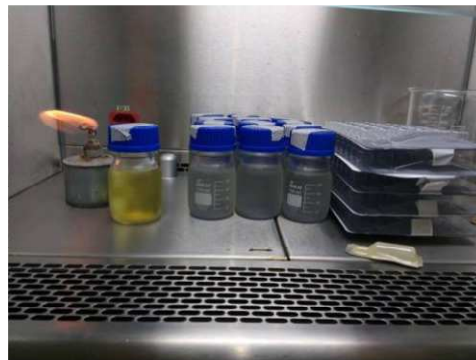
As alíquotas retiradas dos jarros foram levadas para a câmara específica para inoculação (Figura 20) onde foram transferidas para recipientes estéreis (Figura 21) logo é adicionado o Colitag, posteriormente a água já contendo o meio de cultura é transferida para a cartela Quant – Tray.

**Figura 20:** Câmara específica para inoculação



**Fonte:** Própria (2016)

**Figura 21:** Adição do meio de cultura e transferência para cartela Quant - Tray



**Fonte:** Própria (2016)

As cartelas são seladas na seladora (Figura 22), e encubadas na estufa (Figura 23) a 35 °C durante 24h.

**Figura 22:** Seladora



**Fonte:** Própria

**Figura 23:** Estufa



**Fonte:** Própria (2016)

Após 24h as são contadas as cargas microbianas contidas nas concavidades grandes e pequenas que apresentam uma coloração amarelada (Figura 24), onde o resultado é convertido em NMP (número mais provável) através da tabela 6 em anexo.



**Figura 24:** Cartela Quant - Tray com amostra para leitura de C.T.



**Fonte:** Própria (2016)

A cartela é exposta na luz UV de 365 nm, onde gera fluorescência na presença da Escherichia Coli (Figura 25). Onde o processo de contagem e conversão para NMP é análogo ao procedimento a cima.

**Figura 25:** Cartela Quanty - Tray com amostra para leitura de E. Coli



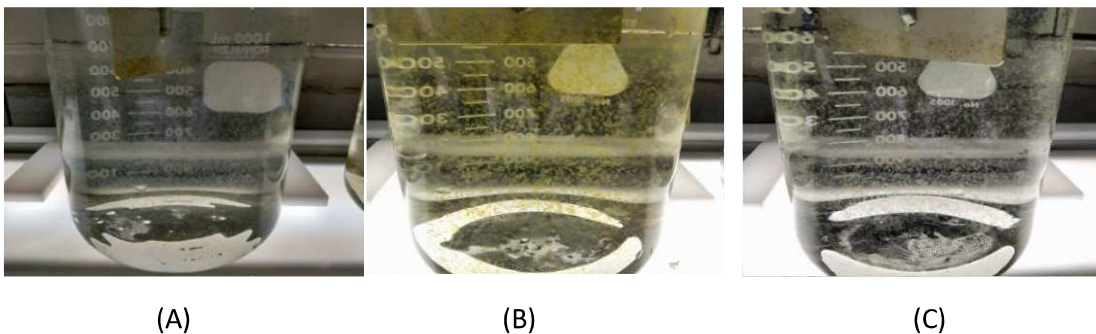
**Fonte:** Própria (2016)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando inicialmente os flocos formados pelo coagulante sulfato de alumínio (Figura 26 A), foi verificado que os flocos formados são menores e menos densos e com isto apresentou maiores tempos para sedimentação. O sulfato férrico (Figura 26 B) apresentou flocos maiores onde pode ser explicado pela maior dimensão do seu raio, resultando num maior volume ao adsorver as partículas coloidais, logo apresentou o menor tempo de sedimentação em relação aos demais agentes coagulantes, tal comportamento é explicado pelo seu peso molecular  $PM = 55,85$  u. O P.A.S (Figura 26 C) é um agente coagulante que contém alumínio, porém possui cadeias poliméricas em sua formulação, tal composto proporciona um englobamento maior entre as partículas desestabilizadas fazendo com que ocorra uma aglomeração maior, com isto apresentou flocos maiores e menor tempo de sedimentação.

De modo geral, analisando os três agentes coagulantes, o sulfato férrico apresentou maiores flocos formados e mais densos, com isto obteve o menor tempo de sedimentação, o sulfato de alumínio apresentou formação de flocos menores e obteve maior tempo de sedimentação, o coagulante P.A.S apresentou-se numa faixa intermediária em relação a dimensão dos flocos formados e tempo de sedimentação.

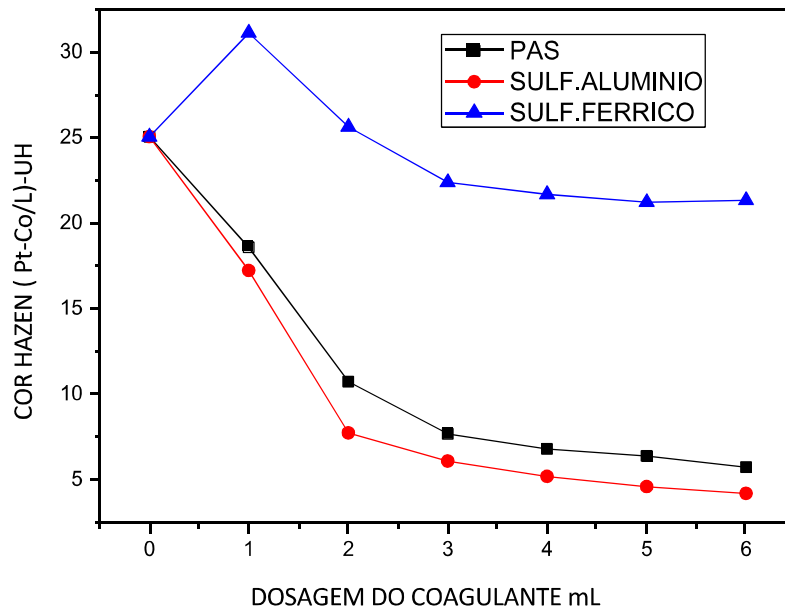
**Figura 26:** Sulfato de alumínio (A), sulfato férrico (B), P.A.S. (C)



**Fonte:** Própria (2016)

Analisando o Gráfico 1 relacionado a cor aparente, onde foi investigado a influência da dosagem de cada coagulante em ml na remoção de cor, observou-se comportamentos distintos para cada coagulante.

**Gráfico 1:** Variação da cor em função da dosagem dos coagulantes em ml



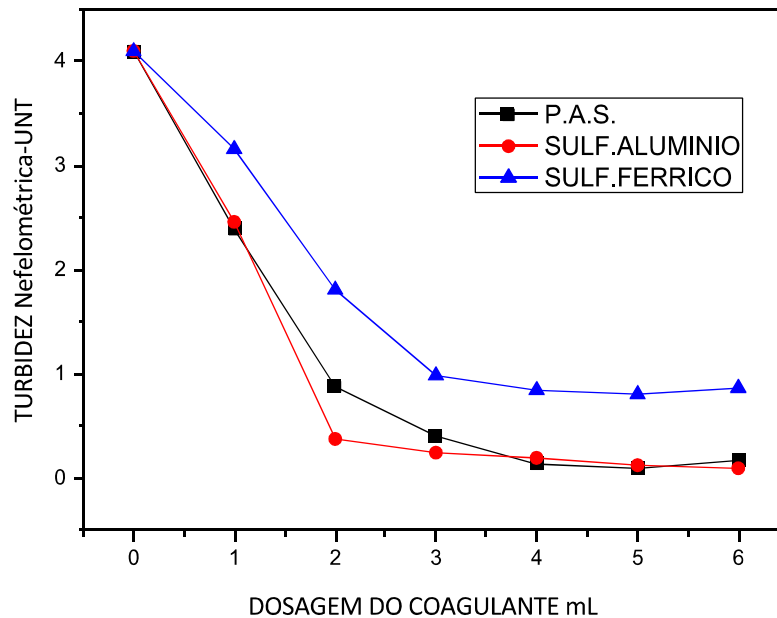
**Fonte:** Própria (2016)

Conforme o Gráfico 1, a adição do coagulante sulfato férrico na água acarreta uma geração de cor amarelada característica do íon férrico. Observou-se um decaimento da cor em função do aumento da dosagem do coagulante, onde este fato está relacionado na remoção das partículas em suspensão, onde a cor permanente se dá exclusivamente do íon férrico.

Os agentes coagulantes sulfato de alumínio e P.A.S. apresentaram comportamento semelhante na remoção de cor, onde obteve uma maior eficiência utilizando o sulfato de alumínio cujo na dosagem de 6 ml apresentou 83,25 % na remoção da cor, já o emprego do agente coagulante P.A.S. apresentou uma remoção de 77,05 %.

Em seguida, está apresentado o Gráfico 2 relacionado a turbidez, onde foi investigado a influência da dosagem de cada coagulante em ml na remoção da turbidez, onde observou-se comportamentos distintos para cada coagulante.

**Gráfico 2:** Variação da turbidez em função da dosagem dos coagulantes em ml



**Fonte:** Própria (2016)

Analisando o Gráfico 2 verificamos um decaimento na turbidez em função da dosagem em ml de cada agente coagulante, tal efeito é resultante da diminuição do potencial zeta das partículas, diminuindo a repulsão entre elas e prevalecendo as forças atrativas de Van der Waals. Nessa análise, os agentes coagulantes apresentaram valores distintos na remoção da turbidez, onde o sulfato férrico apresentou uma menor eficiência na remoção com 78,78 %, os agentes coagulantes sulfato de alumínio e P.A.S. apresentaram comportamentos semelhantes onde o sulfato de alumínio obteve uma remoção mais considerável com 97,56 %, o P.A.S. obteve uma remoção de 95,73%.

Tomando como base o modelo de Stern, onde leva em consideração o efeito da especificidade iônica, onde íons de mesma valência afetam na compressão da dupla camada de forma distinta, podemos explicar a diferença entre os valores da turbidez encontrados utilizando os agentes coagulantes sulfato de alumínio e sulfato férrico. Apesar de serem tri-valentes ( $Al^{+3}$  e  $Fe^{+3}$ ), a distinção de valores está relacionado ao raio de cada espécie, onde o íon  $Al^{+3}$  é menor, gerando uma maior polarizabilidade devido ao aumento da força de adsorção ocasionando a compressão da dupla camada elétrica, diminuindo o valor do potencial zeta, com isto, uma maior quantidade de partículas coloidais são desestabilizadas

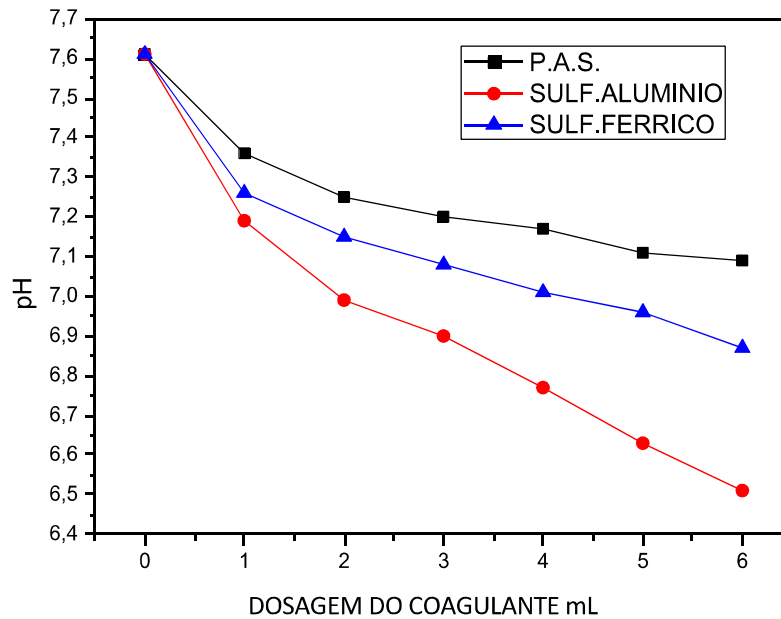
fato verificado com valores mais baixos de turbidez. Segundo descrito por Alijó (2011), quanto menor o raio iônico, menor a hidratação iônica, onde com valores baixos desta hidratação levará o aumento da interação eletrostática com a superfície da partícula coloidal, tal efeito é observado na habilidade de comprimir a dupla camada elétrica que aumenta do  $\text{Li}^+$  para  $\text{Cs}^+$ , de forma análoga podemos dizer que este efeito também ocorre quando comparamos os cátions  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{Fe}^{+3}$ , onde o cátion  $\text{Al}^{+3}$  possui maior capacidade de comprimir a dupla camada elétrica.

O agente coagulante P.A.S. apresenta cadeias poliméricas em sua composição, podendo ser catiônico e aniônico ou não iônico. Onde os catiônicos e aniônicos se ionizam quando dissolvidos em água, logo podem desestabilizar as partículas coloidais em suspensão, geralmente esses polímeros possuem auto peso molecular arrastam as partículas com mais facilidade, os não iônicos não formam espécies ionizáveis, logo a agregação das partículas na presença desta classe de polímero dissolvido ocorre para aumentar o volume excluído deste polímero.

Tomando como base a teoria DLVO, podemos dizer que a energia resultante destes processos de coagulação se encontram na região do mínimo primário, onde existe uma enorme força de atração devido a aproximação entre as partículas coloidais, logo este processo é chamado de coagulação forte pois as partículas se aglomeram de forma irreversível e mesmo sob agitação rigorosa, essas partículas não tornam a ficar em suspensão.

Analisando o Gráfico 3 relacionado a mudança do pH, observa-se influências distintas dos agentes coagulantes no pH do meio, onde cada agente coagulante em contato com a alcalinidade natural gera subprodutos diferentes e proporções distintas, afetando o pH.

**Gráfico 3:** Variação do pH em função da dosagem dos coagulantes em ml



**Fonte:** Própria (2016)

Desse modo, o agente coagulante sulfato de alumínio apresentou uma maior redução no pH em função da dosagem, pois um dos sub produtos da reação do sulfato de alumínio com a alcalinidade natural da água é o ácido carbônico acarretando no decaimento mais acentuado do pH.

O sulfato férrico apresentou um decaimento no pH, porém menos acentuado devido a formação do dióxido de carbono onde é um dos subprodutos formados na reação do sulfato férrico com a alcalinidade natural da água.

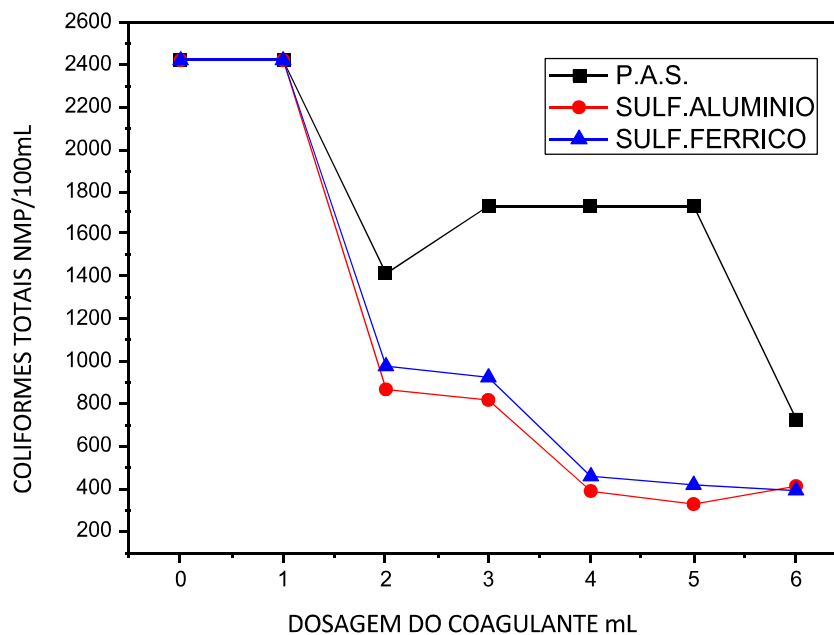
Com a adição do agente coagulante P.A.S. houve uma alteração leve no pH em relação ao sulfato de alumínio e sulfato férrico, tal comportamento não pode ser bem explicado pois o P.A.S. é um produto novo no comércio cuja composição exata não é exposta.

De modo geral, o pH indica a concentração de íons  $H^+$  e  $OH^-$ , logo podemos descrever o provável efeito desses íons em solução na compressão da dupla camada elétrica. Quando o pH está na faixa de neutralidade os íons  $H^+$  e  $OH^-$  encontram-se em equilíbrio na porção difusa das partículas coloidais, porém quando ocorre um deslocamento do pH tanto para a faixa superior ou inferior a 7 tendo como limite inferior 0 e limite superior 14, dizemos que esses íons encontram-se em desequilíbrio, acarretando no aumento dessas espécies iônicas na camada difusa da partícula aumentando a força iônica do meio, ocorrendo a compressão da

camada difusa favorecendo a coagulação, onde pode ser correlacionado com o Gráfico 2, que descreve a remoção de turbidez.

No Gráfico 4, está expresso o comportamento dos Coliformes Totais avaliando as diferentes dosagens de coagulantes.

**Gráfico 4:** comportamento dos Coliformes Totais em função da dosagem dos coagulantes em ml



**Fonte:** Própria (2016)

Onde foi possível comprovar o comportamento semelhante ao descrito no Manual Prático de Análise de Água FUNASA (2014), onde haveria uma precipitação da carga microbiana no processo de coagulação, onde foram observados comportamentos distintos para os agentes coagulantes. Desse modo, na dosagem de 1 ml, não houve variação na carga microbiana para os três coagulantes, como houve uma pouca formação de flocos nessa dosagem, possivelmente não foi possível o arraste dos microrganismos.

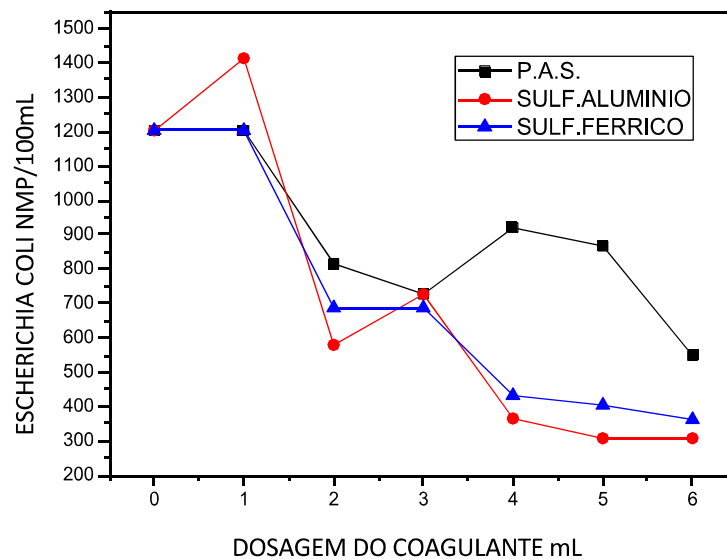
O agente coagulante P.A.S, apresentou um comportamento anômalo em relação ao sulfato de alumínio e sulfato férrico, pois a carga de coliformes totais apresentou-se constante no intervalo de 3 a 5 ml de dosagem, este comportamento não era esperado, pois nessas dosagens apresentaram uma grande formação de flocos, que devido sua sedimentação adsorveria essas bactérias em suspensão.

Na dosagem de 6 ml ocorreu o esperado, um arraste significativo devido à grande sedimentação das partículas desestabilizadas, onde essa enorme carga de flocos formam uma espécie de rede adsorvendo e/ou arrastando as demais, com isto houve um arraste de 69,95 % do grupo Coliformes Totais.

O sulfato de alumínio e sulfato férrico apresentaram comportamentos semelhantes, onde houve uma redução do grupo coliformes com o aumento na dosagem dos coagulantes, segundo o Manual de Controle de Qualidade de Água, as Bactérias com reologia esférica podem ser desestabilizadas pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, as bactérias não esféricas, grandes ou filamentosas precipitam através do mecanismo de varredura, onde com grandes dosagens de coagulante formando os hidróxidos insolúveis, que adsorvem a matéria em suspensão juntamente com as bactérias. Onde o sulfato férrico apresentou um maior arraste na última dosagem de 6 ml arrastando 83,88 % da carga de Coliformes Totais e o sulfato de alumínio apresentou um arraste de 83,06 %.

No Gráfico 5, está expresso o comportamento do grupo Escherichia Coli avaliando as diferentes dosagens dos coagulantes.

**Gráfico 5:** Comportamento do grupo E. Coli em função da dosagem dos coagulantes em ml



**Fonte:** Própria (2016)

Analisando o gráfico (E.Coli), observa-se uma tendência para a precipitação do grupo E.coli em função da dosagem do coagulante, como este grupo de bactérias está inserido no



grupo Coliformes totais segue o mesmo princípio, a remoção pode ser originado do mecanismo adsorção e neutralização de carga ou varredura.

Como observado na remoção do grupo coliformes totais, o agente coagulante P.A.S. apresentou comportamento distinto, onde obteve uma menor remoção do grupo Escherichia Coli totalizando 54,51 % na dosagem de 6 ml.

Os coagulantes sulfato de Alumínio e sulfato férrico mais uma vez apresentaram comportamento de remoção semelhantes arrastando consideravelmente a carga de E.Coli contidas em suspensão, onde o sulfato de alumínio obteve maior remoção com 74,44 % de remoção, porém, o sulfato férrico apresentou 69,95 % de remoção do grupo Escherichia Coli, isto na dosagem de 6 ml.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O agente coagulante sulfato de alumínio já utilizado nesta estação, apresentou melhores resultados em relação a remoção de cor, turbidez, porém seu uso acarretou numa perturbação mais acentuada no pH, tal comportamento poderia nos fazer repensar na utilização deste produto, mas segundo o Ministério da Saúde em sua portaria Nº 2.911 de 2011 estabelece que a faixa de pH para água destinada ao consumo deve apresentar no intervalo entre 6 a 9,5, outro fator a ser analisado, o processo físico posterior (filtração) ao da clarificação, auxilia na remoção de cor e turbidez, logo não é necessário utilizar uma dosagem alta na conversão da escala laboratorial para a escala real, onde este cálculo não é interessante para este trabalho.

O agente coagulante sulfato férrico é falho na remoção de cor e turbidez, porém apresenta ótimos resultados em relação a tamanho e densidade de flocos formados, tal característica poderia ser explorada nas estações de tratamento de esgotos, onde a cor resultante característica do íon férrico não seria problema. Com flocos maiores e mais densos, o sulfato férrico auxiliaria na redução da carga de Coliformes Totais com menores tempos de tratamento, aumentando a quantidade de esgoto tratado.

O agente coagulante P.A.S. apresentou eficiência semelhante ao sulfato de alumínio na remoção de cor e turbidez, analisando em conjunto a perturbação no pH, o P.A.S. apresenta uma vantagem, onde sua adição na água causa uma pequena mudança no pH, mas para introduzir um novo produto deve analisar seu custo e disponibilidade no mercado, pois numa estação de tratamento necessita de uma vasta quantidade do produto disponível, analisando esses fatores não é aconselhável utilizar o P.A.S. como novo agente coagulante.

A quantificação da redução da carga microbiana contido na suspensão da água foi de extrema importância para este trabalho, pois sabendo o comportamento desta redução em função do processo de coagulação e floculação é possível realizar um estudo mais aprofundado para reduzir a intensidade do processo de desinfecção, tendo em vista que a carga microbiológica não é a mesma da água bruta no ponto de captação.

Desse modo, a presente pesquisa apresentou como diferencial aos demais trabalhos uma aproximação a realidade de uma estação de tratamento (ETA), onde uma boa parte dos estudos realizados por outros pesquisadores utilizam amostras sintéticas gerando

artificialmente cor e turbidez para aplicação do processo de clarificação. Porém, a realização de testes de coagulação/floculação, aproxima a pesquisa da realidade específica de uma estação de tratamento de água, onde foi selecionada a ETA de Gravatá, que atua com o tratamento de água bruta do manancial Epitácio Pessoa, assumindo todos os interferentes que o processo real.

## REFERÊNCIAS

- ALLIÓ, P. H. R. Cálculo de propriedades físico-químicas de sistemas coloidais assimétricos via equação de poisson-boltzmann modificada. P. 113. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K.M. Rapid mix design for mechanisms of alum coagulation. Vol. 74. N. 4. P.210-216. J. AWWA, 1982.
- ANA. Atlas brasil: Abastecimento urbano de água. Brasília. Engecorps, Cobrape, 2010.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta. Princípios de química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5ª ed. Porto alegre, RS. Bookman, 2012.
- BARBOSA, G. M. Processo de clarificação convencional combinado com microfiltração visando ao reuso de efluente da indústria sucroalcooleira. P. 177. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do rio de Janeiro. RJ, 2011.
- BARROS, M. J.; NOZAKI, J. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. P. 5. Quim. Nova, Vol. 25, No. 5, 736-740, 2002.
- BARROS, R.T.V. et al. Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Vol. 2. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 1995.
- BAUMINAS. Disponível em <<http://www.bauminas.com.br/bauminas-quimica/pas>> acesso em 01/04/2016.
- BRAGA, Benedito et. Al. Introdução a engenharia ambiental. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n°. 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.
- CARDOSO, Marcio. Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo na estação de tratamento de água. Dissertação (mestrado) P.110. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- CARVALHO, A. R.; OLIVEIRA, M.V.C. Princípios básicos do saneamento do meio. 10 ed. São Paulo. Editora Senac, 2010.
- DI BERNADO, A.S. Influência das condições de aplicação de polímeros catiônicos na eficiência da floculação. Dissertação (Mestrado) P.207. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

DI BERNADO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. Vol 1. Rio de Janeiro. ABES, 1993.

FAGUNDES, J. M. Saúde de trabalhadores em estações de tratamento de água: riscos químicos. Estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. RJ, 2006.

FERNANDES, L. L.; GOIS, R. V. Avaliação das principais metodologias aplicadas às análises microbiológicas de água para consumo humano voltadas para a detecção de coliformes totais e termotolerantes. P.16. Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente 6(2): 49-64, jul-dez, 2015.

Figura 1: Molécula da água. Disponível em:  
<<http://minhateca.com.br/sitiogaicho/Documentos/Facul/8+sem/Oceanografia/Oceanografia,156658497.docx>> Acesso em: 01/03/2016.

Figura 2: Formação das pontes de hidrogênio. Disponível em:  
<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/a-molecula-agua.htm>> Acesso em: 01/03/2016.

FUNASA. Manual de controle da qualidade de água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília, 2014.

FUNASA. Manual prático de análise de água. 3 ed. Brasília, 2009.

FURLAN, F. R. Avaliação da eficiência do processo de coagulação/floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. SC, 2008.

GUEDES, Antônio, Batista. Manual de operação, manutenção e controle de qualidade de estações de tratamento de água. CAGEPA. Departamento de controle de qualidade. João Pessoa, Julho, 2004.

JUNIOR, M. J.; VARANDA, L. C. O mundo dos coloides. P.5. Química nova na escola. n° 9, maio 1999.

KURITZA, J. C. Aplicação da coagulação, floculação e sedimentação como pós-tratamento de efluente de uma indústria de papel e celulose. Dissertação (Mestrado) P.127. Universidade estadual do centro-oeste. Irati – PR, UNICENTRO, 2012.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 2 ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008.

MAIA, A. S.; OLIVEIRA, W.; OSÓRIO, V. K. L. Da água turva a água clara: o papel do coagulante. P. 3. Química nova na escola. N° 18, novembro, 2003.

- MARQUEZI, M. C. Comparação metodológica para a estimativa do número mais provável (NMP) de coliformes em amostras de água. P.111. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. São Paulo, 2010.
- MARQUEZI, M. C.; GALLO, C. R.; DIAS, C. T. S. Comparação entre métodos para a análise de coliformes totais e E. coli em amostras de água. P.6. Rev Inst Adolfo Lutz. São Paulo, 2010; 69(3):291-6.
- MENDES, C.G.N. Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis. Tese (Doutorado). P.144. Escola de engenharia de São Carlos. Universidade do estado de São Paulo. São Carlos, 1989.
- NECKEL, I. T. Crescimento e morfologia de ligas de coxFe100-X eletrodepositadas sobre Si(111) TIPO-n. P. 108. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.
- PANDUCHI, Luciano. Estudo do comportamento coloidal de Suspensão de fibra de celulose, carbonato de cálcio, amido catiônico: Variação da força iônica e do pH. P. 58. Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2009.
- PANNO, N. F. Eletrólitos a base de líquido iônico BMI.BF<sub>4</sub> para aplicação em capacitores eletroquímicos de níquel. P. 82. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.
- PAVANELLI, Gerson. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Dissertação (Mestrado) P.233 Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.
- POHLING, Rolf. Reações Químicas na Análise de Água. Fortaleza: Arte Visual, 2009. p. 334.
- RATTI, B. A.; BRUSTOLIN, C. F.; SIQUEIRA, T. A.; TORQUATO, A. S. Pesquisa de coliformes totais e fecais em amostras de água coletadas no bairro zona sete, na cidade de Maringá-PR. VII encontro internacional de produção científica. P.4. ISBN 978-85-8084-055-1. CESUMAR. Maringá – PR, outubro 2011.
- SÁ, S. M. Estudo do mecanismo de carregamento elétrico da superfície de nanopartículas de edl-mf: um modelo alternativo. P. 84. Universidade de Brasília. Faculdade unb – Planaltina. Brasília, 2013.
- SABESP. Estação de Tratamento de Água Guaraú. 2006.
- SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias. Campina Grande: O Autor, 2001.
- WEBER, W. J. Physico-chemical Processes for Water Quality Control. Canada: John Wiley e Sons Inc., 197

## ANEXOS

**Tabela 6:** transformação da contagem dos positivos em NMP

IDEXX Quanti-Tray/2000 Tabla, número más probable

| # Pociños Grandes Positivos | # Pociños pequenos positivos |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-----------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                             | 0                            | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24    |
| 0                           | <1                           | 1.0  | 2.0  | 3.0  | 4.0  | 5.0  | 6.0  | 7.0  | 8.0  | 9.0  | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 13.0 | 14.1 | 15.1 | 16.1 | 17.1 | 18.1 | 19.1 | 20.2 | 21.2 | 22.2 | 23.3 | 24.3  |
| 1                           | 1.0                          | 2.0  | 3.0  | 4.0  | 5.0  | 6.0  | 7.1  | 8.1  | 9.1  | 10.1 | 11.1 | 12.1 | 13.2 | 14.2 | 15.2 | 16.2 | 17.3 | 18.3 | 19.3 | 20.4 | 21.4 | 22.4 | 23.5 | 24.5 | 25.6  |
| 2                           | 2.0                          | 3.0  | 4.1  | 5.1  | 6.1  | 7.1  | 8.1  | 9.2  | 10.2 | 11.2 | 12.2 | 13.3 | 14.3 | 15.4 | 16.4 | 17.4 | 18.5 | 19.5 | 20.6 | 21.6 | 22.7 | 23.7 | 24.8 | 25.8 | 26.9  |
| 3                           | 3.1                          | 4.1  | 5.1  | 6.1  | 7.2  | 8.2  | 9.2  | 10.3 | 11.3 | 12.4 | 13.4 | 14.5 | 15.5 | 16.5 | 17.6 | 18.6 | 19.7 | 20.8 | 21.8 | 22.9 | 23.9 | 25.0 | 26.1 | 27.1 | 28.2  |
| 4                           | 4.1                          | 5.2  | 6.2  | 7.2  | 8.3  | 9.3  | 10.4 | 11.4 | 12.5 | 13.5 | 14.6 | 15.6 | 16.7 | 17.8 | 18.8 | 19.9 | 21.0 | 22.0 | 23.1 | 24.2 | 25.3 | 26.3 | 27.4 | 28.5 | 29.6  |
| 5                           | 5.2                          | 6.3  | 7.3  | 8.4  | 9.4  | 10.5 | 11.5 | 12.6 | 13.7 | 14.7 | 15.8 | 16.9 | 17.9 | 19.0 | 20.1 | 21.2 | 22.2 | 23.3 | 24.4 | 25.5 | 26.6 | 27.7 | 28.8 | 29.9 | 31.0  |
| 6                           | 6.3                          | 7.4  | 8.4  | 9.5  | 10.6 | 11.6 | 12.7 | 13.8 | 14.9 | 16.0 | 17.0 | 18.1 | 19.2 | 20.3 | 21.4 | 22.5 | 23.6 | 24.7 | 25.8 | 26.9 | 28.0 | 29.1 | 30.2 | 31.3 | 32.4  |
| 7                           | 7.5                          | 8.5  | 9.6  | 10.7 | 11.8 | 12.8 | 13.9 | 15.0 | 16.1 | 17.2 | 18.3 | 19.4 | 20.5 | 21.6 | 22.7 | 23.8 | 24.9 | 26.0 | 27.1 | 28.3 | 29.4 | 30.5 | 31.6 | 32.8 | 33.9  |
| 8                           | 8.6                          | 9.7  | 10.8 | 11.9 | 13.0 | 14.1 | 15.2 | 16.3 | 17.4 | 18.5 | 19.6 | 20.7 | 21.8 | 22.9 | 24.1 | 25.2 | 26.3 | 27.4 | 28.6 | 29.7 | 30.8 | 32.0 | 33.1 | 34.3 | 35.4  |
| 9                           | 9.8                          | 10.9 | 12.0 | 13.1 | 14.2 | 15.3 | 16.4 | 17.6 | 18.7 | 19.8 | 20.9 | 22.0 | 23.2 | 24.3 | 25.4 | 26.6 | 27.7 | 28.9 | 30.0 | 31.2 | 32.3 | 33.5 | 34.6 | 35.8 | 37.0  |
| 10                          | 11.0                         | 12.1 | 13.2 | 14.4 | 15.5 | 16.6 | 17.7 | 18.9 | 20.0 | 21.1 | 22.3 | 23.4 | 24.6 | 25.7 | 26.9 | 28.0 | 29.2 | 30.3 | 31.5 | 32.7 | 33.8 | 35.0 | 36.2 | 37.4 | 38.6  |
| 11                          | 12.2                         | 13.4 | 14.5 | 15.6 | 16.8 | 17.9 | 19.1 | 20.2 | 21.4 | 22.5 | 23.7 | 24.8 | 26.0 | 27.2 | 28.3 | 29.5 | 30.7 | 31.9 | 33.0 | 34.2 | 35.4 | 36.6 | 37.8 | 39.0 | 40.2  |
| 12                          | 13.5                         | 14.6 | 15.8 | 16.9 | 18.1 | 19.3 | 20.4 | 21.6 | 22.8 | 23.9 | 25.1 | 26.3 | 27.5 | 28.6 | 29.8 | 31.0 | 32.2 | 33.4 | 34.6 | 35.8 | 37.0 | 38.2 | 39.5 | 40.7 | 41.9  |
| 13                          | 14.8                         | 16.0 | 17.1 | 18.3 | 19.5 | 20.6 | 21.8 | 23.0 | 24.2 | 25.4 | 26.6 | 27.8 | 29.0 | 30.2 | 31.4 | 32.6 | 33.8 | 35.0 | 36.2 | 37.5 | 38.7 | 39.9 | 41.2 | 42.4 | 43.6  |
| 14                          | 16.1                         | 17.3 | 18.5 | 19.7 | 20.9 | 22.1 | 23.3 | 24.5 | 25.7 | 26.9 | 28.1 | 29.3 | 30.5 | 31.7 | 33.0 | 34.2 | 35.4 | 36.7 | 37.9 | 39.1 | 40.4 | 41.6 | 42.9 | 44.2 | 45.4  |
| 15                          | 17.5                         | 18.7 | 19.9 | 21.1 | 22.3 | 23.5 | 24.7 | 25.9 | 27.2 | 28.4 | 29.6 | 30.9 | 32.1 | 33.3 | 34.6 | 35.8 | 37.1 | 38.4 | 39.6 | 40.9 | 42.2 | 43.4 | 44.7 | 46.0 | 47.3  |
| 16                          | 18.9                         | 20.1 | 21.3 | 22.6 | 23.8 | 25.0 | 26.2 | 27.5 | 28.7 | 30.0 | 31.2 | 32.5 | 33.7 | 35.0 | 36.3 | 37.5 | 38.8 | 40.1 | 41.4 | 42.7 | 44.0 | 45.3 | 46.6 | 47.9 | 49.2  |
| 17                          | 20.3                         | 21.6 | 22.8 | 24.1 | 25.3 | 26.6 | 27.8 | 29.1 | 30.3 | 31.6 | 32.9 | 34.1 | 35.4 | 36.7 | 38.0 | 39.3 | 40.6 | 41.9 | 43.2 | 44.5 | 45.9 | 47.2 | 48.5 | 49.8 | 51.2  |
| 18                          | 21.8                         | 23.1 | 24.3 | 25.6 | 26.9 | 28.1 | 29.4 | 30.7 | 32.0 | 33.3 | 34.6 | 35.9 | 37.2 | 38.5 | 39.8 | 41.1 | 42.4 | 43.8 | 45.1 | 46.5 | 47.8 | 49.2 | 50.5 | 51.9 | 53.2  |
| 19                          | 23.3                         | 24.6 | 25.9 | 27.2 | 28.5 | 29.8 | 31.1 | 32.4 | 33.7 | 35.0 | 36.3 | 37.6 | 39.0 | 40.3 | 41.6 | 43.0 | 44.3 | 45.7 | 47.1 | 48.4 | 49.8 | 51.2 | 52.6 | 54.0 | 55.4  |
| 20                          | 24.8                         | 26.2 | 27.5 | 28.9 | 30.1 | 31.5 | 32.8 | 34.1 | 35.4 | 36.8 | 38.1 | 39.5 | 40.8 | 42.2 | 43.6 | 44.9 | 46.3 | 47.7 | 49.1 | 50.5 | 51.9 | 53.3 | 54.7 | 56.1 | 57.6  |
| 21                          | 26.5                         | 27.9 | 29.2 | 30.5 | 31.8 | 33.2 | 34.5 | 35.9 | 37.3 | 38.6 | 40.0 | 41.4 | 42.8 | 44.1 | 45.5 | 46.9 | 48.4 | 49.8 | 51.2 | 52.6 | 54.1 | 55.5 | 56.9 | 58.4 | 59.9  |
| 22                          | 28.2                         | 29.5 | 30.9 | 32.3 | 33.6 | 35.0 | 36.4 | 37.7 | 39.1 | 40.5 | 41.9 | 43.3 | 44.8 | 46.2 | 47.6 | 49.0 | 50.5 | 51.9 | 53.4 | 54.8 | 56.3 | 57.8 | 59.3 | 60.8 | 62.3  |
| 23                          | 29.9                         | 31.3 | 32.7 | 34.1 | 35.5 | 36.8 | 38.3 | 39.7 | 41.1 | 42.5 | 43.9 | 45.4 | 46.8 | 48.3 | 49.7 | 51.2 | 52.7 | 54.2 | 55.6 | 57.1 | 58.6 | 60.2 | 61.7 | 63.2 | 64.7  |
| 24                          | 31.7                         | 33.1 | 34.5 | 35.9 | 37.3 | 38.8 | 40.2 | 41.7 | 43.1 | 44.6 | 46.0 | 47.5 | 49.0 | 50.5 | 52.0 | 53.5 | 55.0 | 56.5 | 58.0 | 59.5 | 61.1 | 62.6 | 64.2 | 65.8 | 67.3  |
| 25                          | 33.6                         | 35.0 | 36.4 | 37.9 | 39.3 | 40.8 | 42.2 | 43.7 | 45.2 | 46.7 | 48.2 | 49.7 | 51.2 | 52.7 | 54.3 | 55.8 | 57.3 | 58.9 | 60.5 | 62.0 | 63.6 | 65.2 | 66.8 | 68.4 | 70.1  |
| 26                          | 35.5                         | 36.9 | 38.4 | 39.9 | 41.4 | 42.8 | 44.3 | 45.9 | 47.4 | 48.9 | 50.4 | 52.0 | 53.5 | 55.1 | 56.7 | 58.2 | 59.8 | 61.4 | 63.0 | 64.7 | 66.3 | 67.9 | 69.6 | 71.2 | 72.9  |
| 27                          | 37.4                         | 38.9 | 40.4 | 42.0 | 43.5 | 45.0 | 46.5 | 48.1 | 49.6 | 51.2 | 52.8 | 54.4 | 56.0 | 57.6 | 59.2 | 60.8 | 62.4 | 64.1 | 65.7 | 67.4 | 69.1 | 70.8 | 72.5 | 74.2 | 75.9  |
| 28                          | 39.5                         | 41.0 | 42.6 | 44.1 | 45.7 | 47.3 | 48.8 | 50.4 | 52.0 | 53.6 | 55.2 | 56.9 | 58.5 | 60.2 | 61.8 | 63.5 | 65.2 | 66.9 | 68.6 | 70.3 | 72.0 | 73.7 | 75.5 | 77.3 | 79.1  |
| 29                          | 41.7                         | 43.2 | 44.8 | 46.4 | 48.0 | 49.6 | 51.2 | 52.8 | 54.5 | 56.1 | 57.8 | 59.5 | 61.2 | 62.9 | 64.6 | 66.3 | 68.0 | 69.8 | 71.5 | 73.3 | 75.1 | 76.9 | 78.7 | 80.5 | 82.3  |
| 30                          | 43.9                         | 45.5 | 47.1 | 48.7 | 50.4 | 52.0 | 53.7 | 55.4 | 57.1 | 58.8 | 60.5 | 62.2 | 64.0 | 65.7 | 67.5 | 69.3 | 71.0 | 72.9 | 74.7 | 76.5 | 78.3 | 80.2 | 82.1 | 84.0 | 85.9  |
| 31                          | 46.2                         | 47.9 | 49.5 | 51.2 | 52.9 | 54.6 | 56.3 | 58.1 | 59.8 | 61.6 | 63.3 | 65.1 | 66.9 | 68.7 | 70.5 | 72.4 | 74.2 | 76.1 | 78.0 | 79.9 | 81.8 | 83.7 | 85.7 | 87.6 | 89.5  |
| 32                          | 48.7                         | 50.4 | 52.1 | 53.8 | 55.6 | 57.3 | 59.1 | 60.9 | 62.7 | 64.5 | 66.3 | 68.2 | 70.0 | 71.9 | 73.8 | 75.7 | 77.6 | 79.5 | 81.5 | 83.5 | 85.4 | 87.5 | 89.5 | 91.5 | 93.5  |
| 33                          | 51.2                         | 53.0 | 54.8 | 56.5 | 58.3 | 60.2 | 62.0 | 63.8 | 65.7 | 67.6 | 69.5 | 71.4 | 73.3 | 75.2 | 77.2 | 79.2 | 81.2 | 83.2 | 85.2 | 87.3 | 89.3 | 91.4 | 93.5 | 95.7 | 97.9  |
| 34                          | 53.7                         | 55.6 | 57.5 | 59.4 | 61.3 | 63.3 | 65.3 | 67.3 | 69.3 | 71.3 | 73.3 | 75.3 | 77.3 | 79.3 | 81.3 | 83.3 | 85.3 | 87.3 | 89.3 | 91.3 | 93.3 | 95.3 | 97.3 | 99.3 | 101.3 |

Fonte: Própria (2016)

**Tabela 7:** Resultados da caracterização inicial da água

| Parâmetro    | Primeiro teste | Segundo teste | Terceiro teste | Valor médio |
|--------------|----------------|---------------|----------------|-------------|
| Turbidez     | 3,99           | 4,16          | 4,14           | 4,10        |
| pH           | 7,58           | 7,60          | 7,65           | 7,61        |
| Alcalinidade | 113,8          | 104,9         | 107,3          | 108,67      |
| C.T.         | 2419,6         | -             | -              | 2419,6      |
| E.Coli       | 1203,3         | -             | -              | 1203,3      |

Fonte: Própria (2016)

**Tabela 8:** Resultados obtidos para o coagulante sulfato de alumínio

| Dosagens | 1 ml   |      |       | 2 ml  |      |      | 3 ml  |      |      | 4 ml  |      |      | 5 ml  |      |      | 6 ml  |      |      |
|----------|--------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
|          | Rep1   | Rep2 | Med   | Rep1  | Rep2 | Med  | Rep1  | Rep2 | Med  | Rep1  | Rep2 | Med  | Rep1  | Rep2 | Med  | Rep1  | Rep2 | Med  |
| Cor      | 16,3   | 18,2 | 17,25 | 7,8   | 7,7  | 7,75 | 5,9   | 6,3  | 6,1  | 5,2   | 5,2  | 5,2  | 5,0   | 4,2  | 4,6  | 4,6   | 3,8  | 4,2  |
| Turbidez | 2,17   | 2,68 | 2,46  | 0,37  | 0,38 | 0,38 | 0,24  | 0,26 | 0,25 | 0,22  | 0,18 | 0,20 | 0,10  | 0,16 | 0,13 | 0,10  | 0,10 | 0,10 |
| pH       | 7,20   | 7,17 | 7,19  | 7,04  | 6,93 | 6,99 | 6,98  | 6,82 | 6,90 | 6,79  | 6,75 | 6,77 | 6,60  | 6,66 | 6,63 | 6,51  | 6,50 | 6,51 |
| C.T.     | 2419,6 |      |       | 866,4 |      |      | 816,4 |      |      | 387,3 |      |      | 325,5 |      |      | 410,6 |      |      |
| E.Coli   | 1203,3 |      |       | 579,4 |      |      | 727   |      |      | 365,4 |      |      | 307,6 |      |      | 307,6 |      |      |

**Fonte:** Própria (2016)**Tabela 9:** Resultados obtidos para o coagulante sulfato férrico

| Dosagens | 1 ml   |      |       | 2 ml  |      |       | 3 ml  |      |       | 4 ml  |      |       | 5 ml  |      |       | 6 ml  |      |       |
|----------|--------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
|          | Rep1   | Rep2 | Med   | Rep1  | Rep2 | Med   | Rep1  | Rep2 | Med   | Rep1  | Rep2 | Med   | Rep1  | Rep2 | Med   | Rep1  | Rep2 | Med   |
| Cor      | 33,5   | 28,8 | 31,15 | 30,7  | 22,8 | 25,65 | 23,7  | 21,3 | 22,40 | 23,6  | 20,4 | 21,70 | 23,2  | 20,0 | 21,25 | 22,1  | 20,6 | 21,35 |
| Turbidez | 3,11   | 3,20 | 3,16  | 2,17  | 1,44 | 1,81  | 1,08  | 0,91 | 0,99  | 1,04  | 0,65 | 0,85  | 0,96  | 0,66 | 0,81  | 1,03  | 0,71 | 0,87  |
| pH       | 7,44   | 7,08 | 7,26  | 7,28  | 7,01 | 7,15  | 7,23  | 6,92 | 7,08  | 7,17  | 6,85 | 7,01  | 7,13  | 6,79 | 6,96  | 7,04  | 6,70 | 6,87  |
| C.T.     | 2419,6 |      |       | 975,6 |      |       | 924,2 |      |       | 457,2 |      |       | 415,6 |      |       | 390,1 |      |       |
| E.Coli   | 1203,3 |      |       | 687,2 |      |       | 687,2 |      |       | 432,4 |      |       | 403,6 |      |       | 361,6 |      |       |

**Fonte:** Própria (2016)



**Tabela 10:** Resultados obtidos para o coagulante P.A.S.

| Dosagens<br>Parâmetros | 1 ml |        |      | 2 ml |        |      | 3 ml |        |      | 4 ml |        |      | 5 ml |        |      | 6 ml |       |      |
|------------------------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|-------|------|
|                        | Rep1 | Rep2   | Med  | Rep1 | Rep2   | Med  | Rep1 | Rep2   | Med  | Rep1 | Rep2   | Med  | Rep1 | Rep2   | Med  | Rep1 | Rep2  | Med  |
| Cor                    | 17,8 | 19,4   | 18,6 | 10,2 | 11,3   | 10,7 | 7,1  | 8,3    | 7,7  | 5,2  | 8,4    | 6,8  | 5,3  | 7,50   | 6,4  | 5,6  | 5,9   | 5,75 |
| Turbidez               | 2,20 | 2,58   | 2,39 | 0,87 | 0,89   | 0,88 | 0,29 | 0,53   | 0,41 | 0,18 | 0,10   | 0,14 | 0,10 | 0,10   | 0,1  | 0,25 | 0,10  | 0,17 |
| pH                     | 7,38 | 7,33   | 7,36 | 7,28 | 7,22   | 7,25 | 7,23 | 7,17   | 7,20 | 7,20 | 7,13   | 7,17 | 7,14 | 7,08   | 7,11 | 7,10 | 7,07  | 7,09 |
| C.T.                   |      | 2419,6 |      |      | 1413,6 |      |      | 1732,9 |      |      | 1732,9 |      |      | 1732,9 |      |      | 727   |      |
| E.Coli                 |      | 1203,3 |      |      | 816,4  |      |      | 727    |      |      | 920,8  |      |      | 866,4  |      |      | 547,5 |      |

**Fonte:** Própria (2016)