



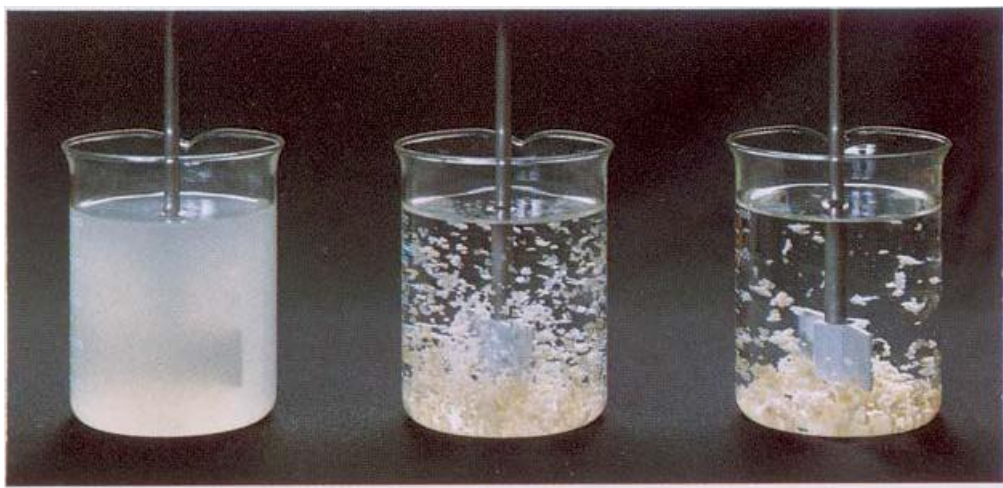
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP



Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente

Processo de COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO

Projecto FEUP #
Ano Lectivo 2012/2013



Grupo MIEA102_02:

- Catarina Seabra Cacheira
- João Pedro Sousa Santos
- José Pedro Neto Faria
- Margarida Mendes Varandas
- Maria Francisca de Castro Ribeiro Pereira da Silva
- Miguel Ângelo Pereira da Costa

Data de Entrega: 22 de Outubro de 2012

“A água é o sangue da terra”

Ditado popular

Objetivos do trabalho

Com a elaboração deste trabalho pretendemos entender melhor como se processa parte do tratamento de águas, mais precisamente o processo de coagulação/floculação, que é um dos passos mais importantes do tratamento, pois ajuda a remover a turvação e a cor da água contaminada. Para tal, efetuamos um ensaio de laboratório, *Jar Test*, com o objetivo de otimizar o processo de coagulação e floculação, determinando o pH ideal para a realização desta experiência.

Assim, ficamos mais familiarizados, em parte, com o tratamento de águas nas ETA, que poderá vir a ser um dia o nosso local de trabalho como engenheiros do ambiente.

Resumo

A água, não só é o recurso mais abundante do nosso planeta, como também é o mais explorado. O “*overuse*” deste recurso traz sérias consequências para a longevidade da espécie humana e para o planeta.

A água é conhecida como o solvente universal. Como tal, dilui outras substâncias de modo espontâneo. No entanto, essas substâncias podem ser prejudiciais para o ser humano.

Uma das opções que a ciência desenvolveu, para contrariar tal efeito e garantir uma recuperação deste recurso, foi o processo de coagulação e floculação.

O objetivo fulcral desta atividade é a otimização deste processo, um dos processos de remoção de elementos dissolvidos na água. A variante trabalhada, pelo nosso grupo, foi o valor ótimo do pH para o qual o fenómeno de coagulação/floculação atinge um expoente máximo, ou seja, o valor para o qual é possível obter água mais límpida e clara possível. Para tal realizou-se uma actividade laboratorial, *Jar Test*, de forma a encontrar o valor de pH ideal.

Depois de termos encontrado o valor de pH ideal, juntamos a essa solução o floculante e observou – se o efeito do mesmo na solução.

Terminamos o nosso projecto com a medição da percentagem de cor removida, juntamente com a percentagem de remoção do TOC.

Palavras Chaves

- . Absorvância;
- . Água;
- . Coagulação;
- . Decantação/Sedimentação;
- . Floculação;
- . Poluição;
- . pH;
- . TOC

Índice

Objetivos do trabalho.....	3
Resumo	4
Palavras Chaves	4
Índice	5
Índice de Figuras	6
Índice de tabelas	6
Abreviaturas e Símbolos	6
1. Introdução.....	8
2. Material	10
3. Reagentes	11
4. Procedimentos.....	11
5. Resultados Obtidos	13
6. Conclusão.....	19
7. Bibliografia.....	20

Índice de Figuras

Figura 1 - Coagulação/Floculação	9
Figura 2 – Material (A – Medidor de pH; B – Jar Test; C – Gobelé de 800 mL; D – NaOH; E – H ₂ SO ₄)	10
Figura 3 – Gobelé com 500 mL de efluente de tinturaria	11
Figura 4 – Gobelés em <i>Jar Test</i>	12
Figura 5 - Gobelé 1 com 3,96 de pH	13
Figura 6 - Gobelé 2 com 5,05 de pH	13
Figura 7 - Gobelé 3 de 6,01 de pH	14
Figura 8 - Gobelé 4 de 7,01 pH	14
Figura 9 - Gobelé 5 de 7,98 de pH	14
Figura 10 - Gobelé 6 de 9,01 de pH	14
Figura 11 - Amostra Inicial	18
Figura 12 - Efluente Tratado	18

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Variação de pH	12
Tabela 2 – Resultados Obtidos	15
Tabela 3 – Variação com floculante	15
Tabela 4 – Amostra Ideal	16
Tabela 5 – Absorvância	16
Tabela 6 – Valores obtidos de TOC	17
Tabela 7 – Comparação dos resultados com o decreto de Lei 236/98	18

Abreviaturas e Símbolos

- **APA** – Agência Portuguesa do Ambiente
- **DOC** – *Dissolved Organic Carbon*
- **ETA** – Estação de Tratamento de Águas
- **ETAR** – Estação de Tratamento de Águas Residuais
- **INAG** – Instituto Nacional da Água
- **TOC** – *Total Organic Carbon*
- **$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$** – Sulfato de Alumínio
- **H_2SO_4** – Ácido Sulfúrico
- **NaOH** – Hidróxido de Sódio

1. Introdução

Um dos bens essenciais a todos os seres vivos, se não o mais importante, é a água. Sem ela, não seria possível a sobrevivência de qualquer organismo e é, por isso, o nosso dever preservá-la. O ser humano tem, então, a obrigação de, de acordo com as suas necessidades, geri-la de forma adequada e de não a contaminar ou poluir no decurso das suas actividades.

Qualquer alteração encontrada na água é sempre preocupante na medida em que pode afectar prejudicialmente o ser vivo, pois altera a sua qualidade, tornando-a imprópria para um certo fim.

Em 1961, a Organização Mundial de Saúde deu a seguinte definição relativa à poluição das águas doces: "Um curso de água considera-se poluído logo que a composição ou estado da água são directa ou indirectamente modificados pela actividade humana, de tal maneira que a água se presta menos facilmente às utilizações que teria no seu estado natural". Esta definição inclui também as modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas da água que a podem tornar não potável ou não utilizável para consumo nas actividades domésticas, industriais, agrícolas, etc. (Infopédia. Porto: Porto Editora s.d.)

Os cursos de água e as águas potáveis e residuais contêm material suspenso (sólido) que pode sedimentar ou permanecer em suspensão, o que torna a água turva ou lhe confere uma determinada cor, podendo dar origem a sabores e cheiros, e/ou promover o desenvolvimento de bactérias, microorganismos, algas ou outros organismos planctónicos (partículas coloidais). (Cheng 2012)

Dos principais responsáveis pela poluição dos cursos de água destacam-se as actividades industriais e de agricultura, que contaminam a água, através dos seus resíduos, com substâncias inorgânicas, nitratos e metais pesados, por exemplo, como o mercúrio, chumbo, crómio, cobre e cádmio, para além das próprias águas residuais urbanas, que contêm os resíduos resultantes da vida quotidiana. (Infopédia. Porto: Porto Editora s.d.)

Cabe ao município verificar periodicamente a qualidade da água, assim como efectuar o seu tratamento em Estações de Tratamento de Águas (ETA) e em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Para além disso, as indústrias e a agricultura têm o dever de procurar minimizar ao máximo o impacto das suas actividades, aplicando uma série de medidas para evitar a poluição dos cursos de água e principalmente respeitando e cumprindo a legislação. De facto, já existe e está em vigor a chamada Lei da Água.

A Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro) sofreu algumas alterações recentemente, uma delas foi estabelecer um novo quadro institucional. Assim, o INAG (Instituto Nacional da Água) deixou de ser a autoridade nacional da água, passando as funções deste

cargo a serem exercidas pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente), ou seja, esta instituição faz agora o planeamento, a gestão e o licenciamento das águas e colabora com a Autoridade Nacional de Proteção Civil a “(...) criar sistemas de alertas de pessoas e bens (...) e [a] desenvolver e gerir o sistema nacional de informação de recursos hídricos” (Alteração da Lei da Água s.d.). Procedeu-se também ao condicionamento de bacias hidrográficas que estavam anteriormente separadas, simplificando a gestão de diversas regiões hidrográficas.

Nas ETAs as águas sofrem vários processos de tratamento, entre eles a Coagulação e a Floculação (processos físico-químicos).

Na coagulação, as partículas coloidais são neutralizadas e aglutinadas em partículas de maiores dimensões (maior volume e maior peso) através do uso de coagulantes (reagentes químicos), que eliminam a carga electrostática negativa da superfície das partículas, o que diminui a repulsão entre elas, e através da agitação rápida que promove o choque entre as partículas. Os coagulantes mais comuns são os sais de ferro e de alumínio que permitem a formação de flocos através da precipitação conjunta do hidróxido metálico com as impurezas por ele neutralizadas. Na experiência realizada utilizamos como coagulante o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$).

A floculação consiste então na agregação de partículas neutralizadas na fase da coagulação, formando-se flocos com a ajuda de um floculante (polímero) que se liga às mesmas através de “pontes”. Os flocos vão aumentando de peso e tamanho permitindo a sua sedimentação por acção da gravidade, de forma a mais tarde poder separá-los da água por processos como a decantação e a filtração. Nesta fase há uma agitação mecânica da massa de água, mas a uma velocidade mais lenta, de modo a promover o bom contacto entre as partículas e os flocos, e sem que haja a destruição daqueles já formados. Na experiência realizada utilizamos como floculante o Magnafloc 155 (Rodrigues, Paula *et al*; ETAR de Barcelos e ETA do Ferro; Pastor, José R *et al*).

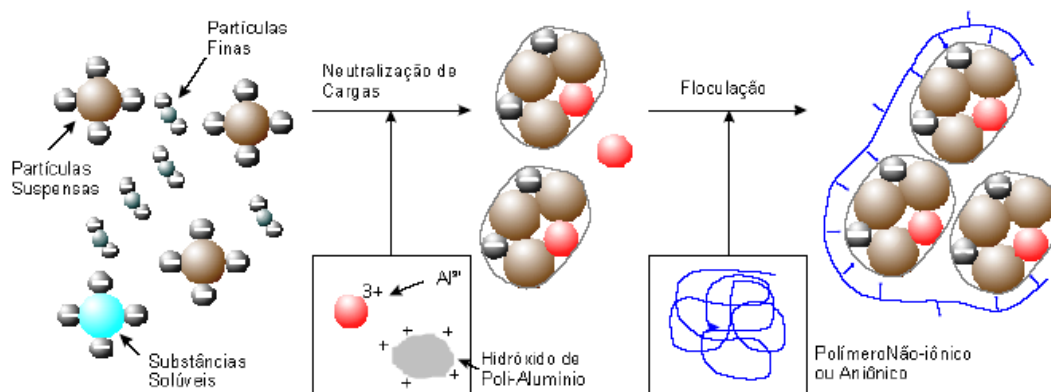


Figura 1 - Coagulação/Floculação

2. Material¹

Para o procedimento desta atividade foi utilizado o seguinte equipamento laboratorial:

- Jar Test ;
- Gobelés de 800mL ;
- Pipetas volumétricas e proveta de 500mL;
- Vareta de vidro;
- Medidores de pH ;
- TOC;
- Espectrofotómetro.

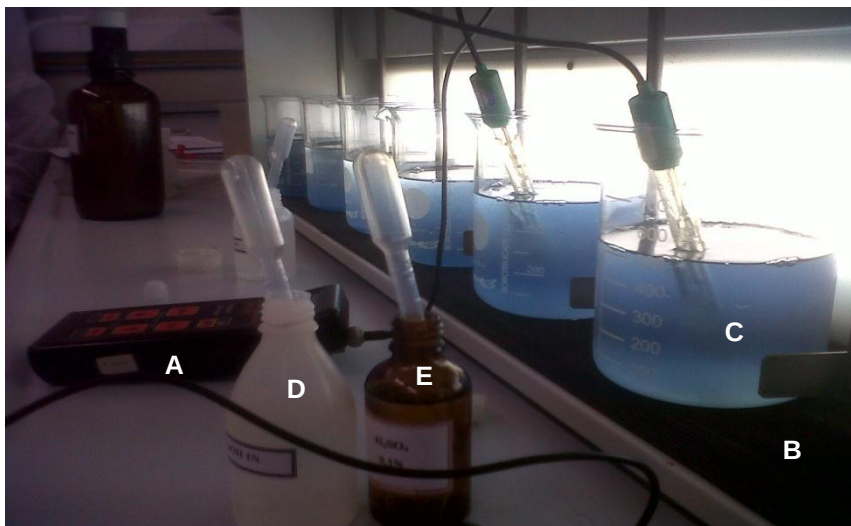


Figura 2 – Material (A – Medidor de pH; B – Jar Test; C – Gobelé de 800 mL; D – NaOH; E – H₂SO₄)

¹ Baseado no protocolo “Ensaio Laboratorial de Coagulação e Floculação- Aplicação ao Efluente de Uma Tinturaria.”

3. Reagentes²

Os reagentes utilizados, que se seguem, já se encontravam disponíveis no laboratório:

- Coagulante: solução de 50 g/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$;
- Flocculante: solução de 0,5 g/L de Magnafloc 155;
- Soluções de H_2SO_4 com concentrações 1:1, 1,0N e 0,1N ;
- Soluções de NaOH de 0,1N e 1,0N ;
- Efluente de uma tinturaria.

4. Procedimentos³

1 – Adicionou-se a cada um dos gobelés uma quantidade de 500 mL de efluente de tinturaria.



Figura 3 – Gobelé com 500 mL de efluente de tinturaria

2 – Juntou-se 2 mL (dose mínima previamente determinada) de coagulante ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), obtendo-se um pH inicial de 8.47 igual em todas as soluções.

3 – Acertou-se o pH de cada uma das soluções com uma solução de H_2SO_4 com as seguintes concentrações: 1:1, 1,0N e 0,1N ou com uma solução de NaOH de 0,1 N e 1,0N, sendo que a utilização de cada uma das soluções dependia do resultado que queríamos obter para cada um do pH das soluções presentes no gobelés.

² Baseado no protocolo “Ensaio Laboratorial de Coagulação e Flocculação- Aplicação ao Efluente de Uma Tinturaria.”

³ Baseado no protocolo “Ensaio Laboratorial de Coagulação e Flocculação- Aplicação ao Efluente de Uma Tinturaria.”

4 – Obteve-se para cada gobelé o seguinte pH apresentado na tabela seguinte:

Tabela 1 – Variação de pH		
<i>Gobelé</i>	pH (apenas c/ coagulante)	pH (c/ coagulante e acertos)
1	8,47	3,96
2	8,47	5,05
3	8,47	6,01
4	8,47	7,01
5	8,47	7,98
6	8,47	9,01

5 - De seguida colocaram-se os gobelés no *Jar Test*, onde estes foram sujeitos a dois períodos de agitação diferentes, uma rápida (150 rpm) durante 3min e uma lenta (20 rpm) durante 15 minutos, seguidas de 15 minutos de repouso.

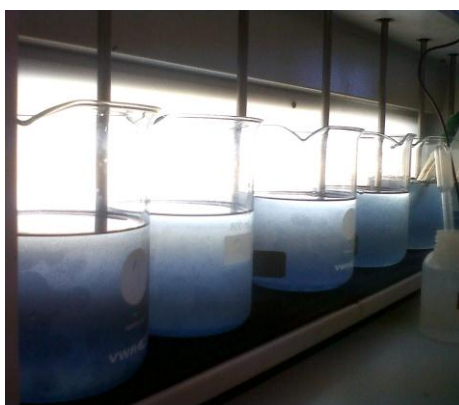


Figura 4 – Gobelés em *Jar Test*

5. Resultados Obtidos

Verificou-se que quanto maior for o pH da solução, maior será o tamanho dos flocos para o efluente em estudo e para a gama de pH testada

Os gobelés nº 2 e 3 apresentam praticamente o mesmo aspeto, sendo o tamanho dos flocos de cada um aproximadamente igual entre si. Embora a água apresente um aspeto mais límpido, os coágulos ainda são muito finos, não se depositando.

Os flocos do gobelé 1 têm dimensões reduzidas, fazendo com que estes não se cheguem a depositar totalmente. A água ainda apresenta a cor inicial do efluente.

Os flocos de maior tamanho verificaram-se nos gobelés 5 e 6, logo foram nestes que se verificou um maior grau de sedimentação/deposição e uma maior transparência da água.

Apesar de os gobelés 5 e 6 terem apresentado características semelhantes, a maior limpidez da água, maior tamanho dos flocos e, conseqüentemente, maior grau de deposição, apresentaram-se no gobelé 6.

Os ensaios apresentados nas figuras seguintes foram realizados com a mesma quantidade de coagulante (2 mL), variando o valor de pH.



Figura 5 - Gobelé 1 com 3,96 de pH



Figura 6 - Gobelé 2 com 5,05 de pH



Figura 7 - Gobelé 3 de 6,01 de pH



Figura 8 - Gobelé 4 de 7,01 pH



Figura 9 - Gobelé 5 de 7,98 de pH

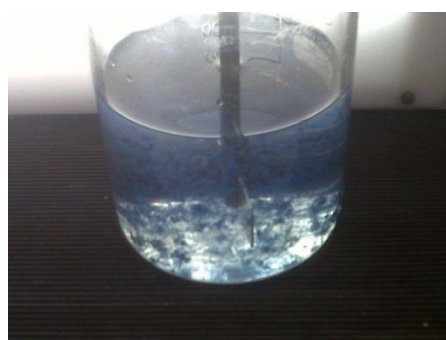


Figura 10 - Gobelé 6 de 9,01 de pH

A partir dos pontos anteriores, e para o efluente e condições testadas, conclui-se :

- Quanto maior o pH da solução, maior o tamanho dos flocos.
- Quanto maior o tamanho dos flocos, maior o grau de sedimentação/deposição.
- Maior o grau de sedimentação/deposição, maior a transparência da água (pureza).

Tabela 2 – Resultados Obtidos

pH	Velocidade de Sedimentação	Turvação	Tamanho dos Flocos
3,96	Menor	Muito Turvo	Pequeno
5,05	Menor	Muito Turvo	Pequeno
6,01	Média	Muito Turvo	Pequeno
7,01	Média	Alguma Turvação	Médio
7,98	Alta	Alguma Turvação	Médio/Grande
9,01	Alta	Pouca Turvação	Grande

A partir da tabela concluímos que dos vários ensaios realizados, o melhor resultado obteve – se na solução de pH 9, porque foi onde se verificou uma maior velocidade de sedimentação, um menor grau de turvação e flocos de maiores dimensões.

Tabela 3 – Variação com floculante

	Velocidade de Sedimentação	Turvação	Tamanho dos Flocos
c/ floculante	Alta	Quase límpida	Grande
s/ floculante	Média	Alguma Turvação	Médio

De acordo com a tabela apresentada em cima, verificamos que obtêm-se resultados mais satisfatórios quando se encontra presente o floculante, pois a velocidade de sedimentação é maior, a solução é quase límpida e os flocos têm maiores dimensões. Isto deve – se ao facto de o floculante permitir uma agregação dos coágulos, de forma a estes adquirirem um peso maior e uma maior densidade, o que vai fazer com que estes se separem adequadamente da fase líquida, depositando-se no fundo do gobelé, fazendo com que seja mais fácil a sua remoção da solução. Desta forma, apresenta-se na seguinte tabela, (tabela 4), as condições óptimas referentes ao processo de coagulação e floculação

Tabela 4 – Amostra Ideal

pH	Velocidade de Sedimentação	Turvação	Tamanho dos Flocos
9	Alta	Quase límpida	Grande

De seguida apresenta-se os resultados obtidos a partir da medição da absorvância do efluente inicial e após os processos de coagulação e coagulação/floculação.

Tabela 5 – Absorvância

Efluente	Absorvância
Inicial	0,042
Após processo de Coagulação	0,003
Após processo de Coagulação e Floculação	0,000

A partir dos dados referenciados na tabela podemos calcular a eficiência da remoção de cor após o processo de coagulação e após o processo de coagulação e floculação através da equação enunciada posteriormente.

$$\text{Eq. 1} \quad \text{Eficiência da cor removida} = 1 - \frac{(abs.final)}{(abs.inicial)} \times 100$$

.Eficiência da cor removida (s/ floculante) = 93%

.Eficiência da cor removida (c/ floculante) = 100%

A partir dos dados, conclui-se que a eficiência da cor removida após o processo de coagulação e floculação é maior. Isto deve – se ao facto de no processo de coagulação as partículas coloidais são neutralizadas e aglutinadas em partículas de maiores dimensões (maior volume e maior peso). Depois com a acção do floculante, as partículas neutralizadas na fase da coagulação, formam flocos . Os flocos vão aumentando de peso e tamanho permitindo a sua sedimentação por acção da gravidade. Consequentemente, a água fica mais límpida.

*A amostra ideal está presente
para um pH óptimo de 9*

O TOC, outro dos parâmetros avaliados, é uma medida direta da matéria orgânica carbonácea existente numa amostra líquida de água ou de efluentes sanitários ou industriais, sem distinguir se é matéria biodegradável ou não. A presença de carbono orgânico em águas limpas e residuárias corresponde à diversidade de compostos orgânicos em vários estados de oxidação. Este é independente do estado de oxidação da matéria orgânica e não mede outros elementos orgânicos.

O TOC divide-se nas seguintes frações:

- Carbono Orgânico Dissolvido
- Carbono Orgânico Não Dissolvido
- Carbono Orgânico Volátil
- Carbono Orgânico Não Volátil

A remoção de TOC em Estações de Tratamento (ETA) é influenciada pelo tipo de coagulante, pH de coagulação-floculação e diversas características da água, particularmente carbono orgânico total e dissolvido (TOC, TOD) e alcalinidade.

De seguida apresenta-se os resultados obtidos da medição do parâmetro TOC.

Tabela 6 – Valores obtidos de TOC

TOC Inicial	46,20 mg/L
TOC Final	27,35 mg/L

A partir da tabela 6, podemos calcular a percentagem de TOC removido da solução, através da equação seguinte.

$$\text{Eq.2: } \text{Percentagem de TOC Removida} = 1 - \frac{(\text{TOC Inicial})}{(\text{TOC Final})} \times 100$$

A percentagem de TOC removida foi aproximadamente de 41%. Este valor de remoção é relativamente baixo, uma vez que o carbono orgânico total não era o principal poluente do efluente avaliado, mas sim os poluentes que conferiam cor ao efluente.

Tendo em conta o decreto de lei 236/98 sobre a qualidade da água, verificando os requisitos para as águas próprias para consumo humano, nomeadamente o TOC e a cor, comparamos na tabela seguinte os valores obtidos com os valores estipulados na legislação.

Tabela 7 – Comparação dos resultados com o decreto de Lei 236/98

Parâmetros	A1 ⁴	A2 ⁵	A3 ⁶
Cor ⁷	Cumpre	Cumpre	Cumpre
TOC	Não cumpre	Não cumpre	Não cumpre

O efluente utilizado neste trabalho experimental tinha coloração azulada de forma a podermos visualizar melhor os resultados do processo coagulação/floculação. Mas, e uma vez que o efluente provinha de uma tinturaria, nunca poderia ser tratado numa ETA, mas sim numa ETAR, sendo posteriormente efectuada a sua descarga no meio hídrico. Desta forma, o processo coagulação/floculação destina-se ao tratamento de água para consumo humano através de captações de águas superficiais e/ou subterrâneas.

Nas figuras seguintes apresenta-se a comparação de uma amostra do efluente inicial com o efluente após tratamento pelo processo de coagulação/floculação.



Figura 11 - Amostra Inicial



Figura 12 - Efluente Tratado

⁴ Tratamento físico e desinfecção

⁵ Tratamento físico e químico e desinfecção

⁶ Tratamento físico, químico de afinação e desinfecção

⁷ Aparentemente este parâmetro é cumprido, mas uma vez que não temos o resultado em mg/L, como está presente na legislação, não podemos afirmar com certeza este facto, mas podemos deduzir que cumpre devido a limpidez do efluente

6. Conclusão

A realização desta atividade experimental, que consiste no processo de coagulação/floculação, permitiu-nos uma familiarização com o laboratório e com algumas técnicas utilizadas, assim como com a Engenharia do Ambiente, principalmente no que diz respeito ao tratamento de águas.

Com sucesso, todas as etapas deste ensaio laboratorial foram devidamente efetuadas com o fim de determinar com rigor o pH ideal a utilizar neste processo. Como dita nos resultados obtidos, a amostra ideal é porém a solução com um pH aproximado a 9, pois apresenta um grau de deposição superior a todas as outras soluções com pH aproximados a 4, 5, 6, 7 e 8 (em ordem crescente de deposição), sendo que este ultimo apresente já um grau de deposição não muito inferior à da solução de pH ideal.

Pode-se então concluir que quanto maior o pH de uma solução maior será o tamanho dos flocos, que por sua vez, permite um maior grau de deposição e uma maior transparência da água que se reflecte na sua maior limpidez e pureza da mesma.

Atraves deste trabalho concluímos também que a percentagem de remoção de cor e a percentagem de TOC é maior nas substâncias utilizando o processo de coagulação/floculação.

7. Bibliografia

- Alteração da Lei da Água*. s.d. http://www.macedovitorino.com/xms/files/20120625-Ambiente_-Alteracao_a_Lei_da_Agua-.pdf.
- Cheng. “Ensaio de Tratamento Físico-Químico de Água Potável por Coagulação-Floculação e Decantação.” 2012.
- Gomes, Joana Filipa Pereira da Silva, e Rui Alfredo da Rocha Boaventura. *Análise e optimização do processo de coagulação/floculação química na ETAR de Barcelos*. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia, 2002.
- Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2012. *poluição dos rios*. s.d. [http://www.infopedia.pt/\\$poluicao-dos-rios](http://www.infopedia.pt/$poluicao-dos-rios) (acedido em 5 de 10 de 2012).
- MIEA, Projecto FEUP. “Ensaio Laboratorial de Coagulação e Floculação- Aplicação ao Efluente de Uma Tinturaria.” 2012/2013.
- Pastor, José R., Antônio R. P. Carvalho, e Gabriel Zibordi. *Tratamento Químico para Estações de Tratamento de Água*. s.d. <http://www.kurita.com.br/adm/download/ETA.pdf> (acedido em 5 de Outubro de 2012).
- Rodrigues, Paula Alexandra Esteves, e Rui Alfredo da Rocha Boaventura. *Optimização do processo de coagulação/floculação química na ETA do Ferro*. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia, 2004.