

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JULIA AOKI DOMINGUES

**VERIFICAÇÃO DA POTENCIAL ATIVIDADE COAGULANTE DO  
EXTRATO DAS SEMENTES DE *Zygia cauliflora* (WILLD.) KILLIP**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2016

JULIA AOKI DOMINGUES

**VERIFICAÇÃO DA POTENCIAL ATIVIDADE COAGULANTE DO  
EXTRATO DAS SEMENTES DE *Zygia cauliflora* (WILLD.) KILLIP**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Flavia Vieira da Silva Medeiros

CAMPO MOURÃO

2016



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### VERIFICAÇÃO DA POTENCIAL ATIVIDADE COAGULANTE DO EXTRATO DAS SEMENTES DE *Zygia cauliflora* (WILLD.) KILLIP

por

Julia Aoki Domingues

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 01 de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof. Dr. Flavia Vieira da Silva Medeiros

---

Prof. Dr. Eudes Jose Arantes

---

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira

*O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Solange, por todo amor, dedicação e confiança que deposita em mim. Sem seu apoio, não me deixando desistir e sempre acreditando na minha capacidade, não teria chegado até aqui.

À professora Dra. Flávia Vieira da Silva Medeiros, pela orientação, paciência, e confiança para a realização desse trabalho. Levarei sempre comigo seus ensinamentos.

À toda minha família, pelo apoio que sempre me deram.

Aos meus amigos de Lins e de intercâmbio, por estarem envolvidos nessa etapa da minha vida, mesmo que indiretamente. Principalmente aos amigos de Campo Mourão, que vivenciaram de perto meus momentos de alegria, tristeza, dificuldades e realizações. Uma fase da nossa vida se encerra, mas levarei vocês sempre comigo.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, por ter cedido o laboratório, os equipamentos e a ajuda de custo necessária para a realização desse trabalho.

À Companhia Paranaense de Saneamento (SANEPAR) por ter cedido a água utilizada na pesquisa.

Ao professor Luiz Augusto Gomes de Souza, do Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA) por ter cedido gentilmente as sementes utilizadas nos ensaios.

À todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

E por último, mas não menos importante, agradeço à Deus, por me fortalecer nos momentos de dificuldade, por ter me dado a oportunidade de estudar em uma universidade bem conceituada e por ter colocado pessoas maravilhosas em meu caminho, sendo sempre tão generoso.

## RESUMO

O emprego de coagulantes naturais na fase de coagulação apresenta-se como uma alternativa promissora em relação à substituição ou ao auxílio dos coagulantes químicos devido às suas inúmeras vantagens. No presente trabalho foi avaliada a eficiência do emprego de coagulante natural no tratamento de água. O coagulante foi extraído da semente de *Zygia cauliflora* (Willd.) Killip. Foram utilizadas diferentes concentrações de coagulante (0,1; 0,5; 1; 2; 3; 4 g.L<sup>-1</sup>) para as realizações dos ensaios, além de diferentes concentrações de sal NaCl (1M e 5M). Para a semente de *Zygia cauliflora* (Willd.) Killip foram obtidos resultados satisfatórios, sendo que a concentração de 2 g.L<sup>-1</sup> do coagulante e 1M do sal teve o melhor rendimento com 30,4% e 74,5% de remoção de cor e de turbidez, respectivamente. Para a análise de remoção do UV<sub>254</sub>, as mesmas concentrações já mencionadas também apresentaram melhor resultado, 70,2%. Com isso, é recomendado que se faça mais estudos com a semente de *Zygia cauliflora* (Willd.) Killip para utilização como auxiliar ou até a substituição de coagulantes químicos.

Palavras-chave: Coagulação. Floculação. Coagulante Natural. Semente Amazônica.

## ABSTRACT

The use of natural coagulants in coagulation presents as a promising alternative for substituting or assisting in chemical coagulants due to its numerous advantages. This work evaluates the effectiveness in the use of natural coagulant in water treatment. The coagulant was extracted from the *Zygiacauliflora* (Willd.) Killip seed. Different concentrations of the coagulant (0,1; 0,5; 1; 2; 3; 4 g.L-1) were used for the tests, as well as different concentrations of salt NaCl (1M and 5M). The results showed that the use of 2 g.L-1 of the coagulant and 1M of the salt for the *Zygiacauliflora* (Willd.) Killip achieved an effectiveness of 30,4% and 74,5% of color and turbidity removal, respectively. When removing the  $UV_{254}$ , the analysis showed an effectiveness of 70,2% in the same parameters. Hence, future work lines should focus on the use of *Zygiacauliflora* (Willd.) Killip. as an alternative for replacing or using as an auxiliary chemical coagulant.

Keywords: Coagulation. Flocculation. Natural Coagulant. Amazon Seed.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração da solução de coagulante em cada jarro. ....	34
Tabela 2 - Resultados das análises físico-químico dá água bruta. ....	37
Tabela 3 - Resultados dos ensaios para o parâmetro turbidez .....	39
Tabela 4 - Resultado em porcentagem da remoção de cor. ....	40
Tabela 5 - Resultado em porcentagem da remoção de turbidez.....	40
Tabela 6 - Melhores resultados encontrados na análise de remoção de cor e turbidez. ....	41
Tabela 7 - Resultados da análise de remoção de UV <sub>254</sub> . ....	42
Tabela 8 - Resultado em porcentagem da remoção de UV <sub>272</sub> . ....	43
Tabela 9 - Resultados para a concentração de MOD. ....	43

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>11</b>
3.1 QUALIDADE DA ÁGUA .....	11
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA .....	12
3.2.1 Características Físicas .....	13
3.2.2 Características Químicas.....	15
3.3 SISTEMA COLOIDAL.....	17
3.3.1 Dupla Camada.....	17
3.3.2 Potencial Zeta.....	19
3.4 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO .....	20
3.5 COAGULAÇÃO.....	21
3.5.1 Mecanismos de Coagulação .....	23
3.5.2 Coagulantes.....	26
3.5.3 Potencial Coagulante Natural .....	28
3.6 FLOCULAÇÃO.....	28
3.7 TESTE DE JARROS.....	30
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA .....	32
4.2 EXTRAÇÃO E PREPARO DO COAGULANTE .....	32
4.2.1 Extração.....	33
4.2.2 Extração do Coagulante Salino .....	33
4.3 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO .....	34
4.4 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA .....	35
4.4.1 Cor .....	35
4.4.2 Turbidez.....	35
4.4.3 UV <sub>254</sub> e UV <sub>272</sub> .....	35
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>37</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA .....	37
5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM <i>Zygia cauliflora</i> (Willd.) Killip COMO POTENCIAL COAGULANTE NATURAL .....	37
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>46</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Para a Organização Mundial da Saúde (OMS) e seus países membros, “todas as pessoas, em quaisquer estágios de desenvolvimento e condições sócio-econômicas têm o direito de ter acesso a um suprimento adequado de água potável e segura”. ‘Segura’, neste contexto, refere-se a uma oferta de água que não represente um risco à saúde, que tenha quantidade suficiente para atender a todas as necessidades domésticas, que seja disponível continuamente e que tenha um custo acessível (ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE, 2001).

Se o objetivo é melhorar a saúde pública, é vital que tais condições sejam consideradas como um todo no momento de se definir e manter programas de qualidade e abastecimento de água (ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE, 2001).

Durante o processo de tratamento de água, um dos primeiros passos é o de coagulação, com o objetivo de reduzir impurezas para que então seja transformado em um produto potável. Por se tratar de uma delicada parte do tratamento, é preciso um controle rígido da dosagem desses produtos químicos, porém, com a alta demanda de água tratada e uma considerável piora na qualidade dos mananciais, é necessário um aumento nessas dosagens. A decisão sobre a escolha do coagulante utilizado frequentemente pauta-se em fatores de ordem econômica, relacionados à adequabilidade, à água bruta, à tecnologia de tratamento, ao custo e também à preservação dos tanques e doadores (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

Segundo Richter (2009), devido a sua característica de reação com a alcalinidade natural que a água bruta possui, o coagulante mais utilizado no Brasil é o sulfato de alumínio. Devido a vários estudos, há evidências de uma relação do conteúdo de alumínio na água tratada com o aumento de incidentes de doenças neurológicas. De acordo com Flaten (2001), para a etiologia e

patogênese do Alzheimer, o alumínio apresenta um papel importante como evidencia, contudo ainda está em debate esta ligação. Bondy (2010) afirma que ainda há análises que conectam à doença de Parkinson e outras doenças neurodegenerativas crônicas também.

Em virtude desses inconvenientes, é desejável substituir coagulantes químicos com coagulantes naturais, como por exemplo à base de plantas. Para Vijayaraghavan, Sivakumar e Kumar (2011), utilizar plantas naturais como coagulantes traz muitas vantagens, sendo as principais: rentáveis, biodegradáveis e não precisam ter um pH elevado para o tratamento de água. Sendo assim, já foram identificados vários tipos de plantas para esta finalidade.

Deste modo, a semente da *Moringa oleifera* Lam (moringa) vem ganhando destaque como coagulante natural no tratamento de água. Na visão de Gámez, Luna-del Risco e Cano (2015, p. 3) essa espécie “contêm um óleo comestível e uma substância solúvel em água que contém proteína na sua composição orgânica que pode agir como um coagulante efetivo”.

No entanto, por ser nativa da Índia, sua disponibilidade pode ser restritiva, impossibilitando seu uso para a demanda do tratamento de água no Brasil. Sendo assim, é importante realizar pesquisas para investigar a aplicabilidade de sementes de leguminosas nativas do Brasil de modo que possa fazer o mesmo papel da *Moringa oleifera* Lam.

Sendo assim, partindo da ideia de encontrar um coagulante tão bom quanto a moringa, esta pesquisa tem como objetivo analisar a eficiência coagulativa da semente nativa da Amazônia, *Zygia cauliflora* (Willd.) Killip. Para realizar tal objetivo, os testes foram feitos no laboratório de saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Campo Mourão.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo examinar a eficiência da função coagulante da semente de leguminosa nativa da Amazônia, *Zygia cauliflora* (Willd.) Killip.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a água bruta coletada;
- Realizar a extração do coagulante das sementes das leguminosas escolhidas;
- Realizar ensaios de coagulação/floculação com diferentes concentrações do coagulante;
- Avaliar o poder coagulante dos ensaios de coagulação/floculação;

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é prioridade constante para o setor de saúde, afinal muitas doenças são resultados do consumo de água contaminada por inúmeras substâncias consideradas impurezas, sendo que a frequência não seria somente para um ou poucos indivíduos, mas para uma população ou grande parte dela.

O Ministério da Saúde publicou no Diário Oficial da União em dezembro de 2011 a Portaria nº 2.914, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Tal Portaria estabelece que é de responsabilidade de quem oferece o abastecimento ou quem presta serviços alternativos de distribuição de controlar a qualidade da água. O Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) estabelece que a verificação se a água consumida atende às determinações da portaria cabe às autoridades de saúde pública das diversas instâncias de governo.

Esta nova Portaria é um resultado de um amplo processo de discussão de revisão da Portaria MS nº 518/2004, que passou por revisões periódicas com intenção de atualizar e incorporar novos conhecimentos em termos de qualidade da água.

Para a caracterização da água potável para consumo humano, é preciso determinar alguns parâmetros que se baseiam nos requisitos da Portaria MS nº 2.914 e demais legislações complementares ou substitutivas, além dos constituintes da fonte de abastecimento e características dos produtos, processos e operações no sistema de tratamento e distribuição.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA

Nascimento (2014) comenta que uma particularidade da água é que ela pode ser encontrada com facilidade nas três fases na natureza, ou seja, é uma substância encontrada no estado sólido, líquido e gasoso na superfície da terra.

Além dos problemas relacionados à quantidade de água há também aqueles relacionados à qualidade da água.

Não existe água pura na natureza, a não ser as moléculas de água presentes na atmosfera na forma de vapor. Assim que ocorre a condensação, começam a ser dissolvidos na água, por exemplo, os gases atmosféricos. Isso ocorre porque a água é um ótimo solvente. Como consequência, são necessários indicadores físicos, químicos e biológicos para caracterizar a qualidade da água (BRAGA et al., 2005).

Para manejo correto dessa substância, seja para abastecimento humano ou qualquer atividade industrial, é de extrema importância conhecer suas características e propriedades.

As características físicas, químicas e biológicas das águas naturais decorrem de uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e na bacia hidrográfica. Por ser considerada o solvente universal, como consequência disso, ocorre a dissolução de uma ampla gama de substâncias e o de transporte pelo escoamento superficial e subterrâneo (LIBÂNIO, 2010).

As características físicas podem ser determinantes na escolha da tecnologia de tratamento a ser utilizada. Os principais parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente as águas naturais são a cor, a turbidez, os teores de sólidos em suas diversas frações, a temperatura, o sabor e o odor (CARDOSO, 2008).

As características químicas da água ocorrem devidas à presença de substâncias dissolvidas e são de grande importância, tendo em vista as consequências sobre o organismo humano (CARDOSO, 2008). Pode-se citar como parâmetros químicos de qualidade: pH, alcalinidade e acidez, dureza, entre

outros.

Essas características são os principais focos deste trabalho, sendo que os parâmetros de destaque e fácil análise que serão utilizados neste trabalho são: cor e turbidez.

### 3.2.1 Características Físicas

As aplicações das características físicas nos estudos e fenômenos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos e de caracterização e controle de qualidade de águas para abastecimento público e para outros fins, tornam essas características indispensáveis à maioria das atividades que envolvem qualidade de águas (NASCIMENTO, 2014).

- Cor

A cor é, geralmente, devida à matéria orgânica em suspensão coloidal, podendo ser devida à matéria mineral em solução, como um colóide, ou em suspensão (BABBITT, 1973).

Quando a água, além da cor, apresenta uma turbidez adicional, diz-se que a cor é aparente. Removida a turbidez, o residual que se mede é a cor verdadeira, devido às partículas coloidais carregadas negativamente (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

Segundo Nascimento (2014), a cor é um parâmetro importante por se tratar de um padrão de potabilidade. Além disso, é fundamental também por ser parâmetro operacional de controle de qualidade, pois serve como base para a determinação das dosagens de produtos químicos a serem adicionados, dos graus de mistura, dos tempos de contato e de sedimentação das partículas floculadas.

- Turbidez

Braga (2005) dia que a turbidez “é decorrente da presença de materiais em suspensão na água, finamente divididos ou estado coloidal, e de organismos microscópicos”. É causada principalmente por areia, argila e microrganismos em geral (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A turbidez, em si só não traria inconvenientes sanitários, não fosse a natureza química de certos compostos em suspensão que poderão estar presentes, bem como a ocorrência, em muitos casos, de organismos patogênicos associados a esses compostos (VIANNA, 1992).

Turbidez, juntamente com a cor, é um parâmetro importante para as estações de tratamento de água, pois é a partir deles que se determina o controle dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração.

- Temperatura

De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), a temperatura é uma medida de intensidade de calor, e por isso é importante pois interfere na velocidade das reações químicas, solubilidade dos gases e pode ressaltar a sensação de sabor e odor. Afeta também na eficiência da desinfecção e na performance das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração.

A temperatura desempenha um papel principal de controla no meio aquático condicionando as influências de uma série de parâmetros físicos e químicos. As variações de temperatura são parte do regime climático normal, e corpos d'água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, e podem apresentar estratificação vertical. A temperatura da água é influenciada por fatores tais como radiação disponível, latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (ZUMACH, 2003).

- Sólidos

Os sólidos correspondem a toda matéria que aparece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-fixada, durante determinado tempo (CARVALHO, 2008).

As atividades agrícolas, em solos com elevado potencial de erosão, aliadas à falta de mata ciliar e de técnicas adequadas de preparo e conservação do solo, constituem-se nas principais causas dos processos erosivos. Como consequência, durante o período chuvoso, grande quantidade de solos é carregada para o leito dos cursos d'água, contribuindo para o aumento da concentração de sólidos. (VANZELA et al., 2005).

- Sabor e odor

Segundo Braga (2005) e Nascimento (2014), sabor e odor são associados à presença de poluentes industriais ou outras substâncias indesejáveis, sendo que a decomposição biológica das matérias orgânicas é uma das principais fontes de odor nas águas naturais.

### 3.2.2 Características Químicas

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), algumas tecnologias de tratamento podem se tornar inviáveis devido a alguns elementos ou compostos químicos na água bruta

A água possui poder de dissolver em intensidades maiores ou menores quase todas as substâncias, mostrando então sua importância química.

- pH

O pH consiste em um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio. Carvalho (2008) comenta que “valores baixos de pH tendem a ser corrosivos, enquanto valores altos tendem a formar incrustações”.

Segundo Libânio (2010), nas estações de tratamento, o pH é monitorado com maior frequência porque causa interferência em certos processos de potabilização. Além disso, define inclusive o potencial de toxicidade de vários elementos, pois o pH interfere no grau de solubilidade de inúmeras substâncias e



na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos.

- Acidez e alcalinidade

A alcalinidade é definida pela capacidade de neutralizar ácidos ou absorver íons hidrogênio sem mudança significativa do pH, sendo então propriedade inversa da acidez.

Acidez por sua vez é caracterizada pela capacidade da água em neutralizar bases. Nascimento (2014) diz que a acidez também “evita bruscas alterações do pH, devido, majoritariamente, à concentração de CO<sub>2</sub> livre nas águas, podendo ser de origem natural [...] ou de origem antrópica”.

No processo de potabilização da água para abastecimento, a alcalinidade adquire função primordial no êxito do processo de coagulação, minimizando a redução muito significativa do pH após a dispersão do coagulante (NASCIMENTO, 2014).

A acidez está relacionada com o condicionamento final da água em uma estação de tratamento, podendo ser necessário estabilizar o carbonato de cálcio por meio da adição de um alcalinizante, a fim de evitar problemas de corrosão no sistema de abastecimento (RITCHER e AZEVEDO NETTO, 2003).

- Dureza

A dureza pode ser considerada como um atributo conferido à água pela presença de sais alcalino-terrosos, como o cálcio e o magnésio (AZEVEDO NETTO et al., 1987) e alguns metais em menor intensidade.

Teores elevados de dureza podem causar sabor desagradável e efeito laxativo, além da redução da formação de espumas do sabão e formação de incrustações nas tubulações. (MOTA, 1997).

### 3.3 SISTEMA COLOIDAL

De acordo com Araújo et al. (2010), quando se trata de coloides e interfaces, a estabilidade, sensibilidade ao ambiente, propriedades eletrostáticas e outros fatores são influenciados pela presença ou ausência de cargas superficiais. Os autores também comentam que a forma mais forte de interação física a ser considerada na interface e no sistema coloidal é potencialmente a de entre dois átomos carregados ou moléculas.

#### 3.3.1 Dupla Camada

Geralmente materiais particulados ou macroscópicos passam a ter uma carga elétrica em sua superfície quando em contato com algum líquido. Essa carga pode aparecer de diversas maneiras: dissociação de grupos ionogênicos na superfície da partícula ou adsorção diferencial de íons da solução na superfície da partícula.

Conforme McKetta (1993) descreveu em seu trabalho que a carga líquida prejudica a distribuição de íons na sua vizinhança, fazendo com que a concentração de contraíons aumente junto a superfície. Desse modo há a formação da dupla camada elétrica na interface da partícula com o líquido.

A dupla camada divide-se em duas regiões:

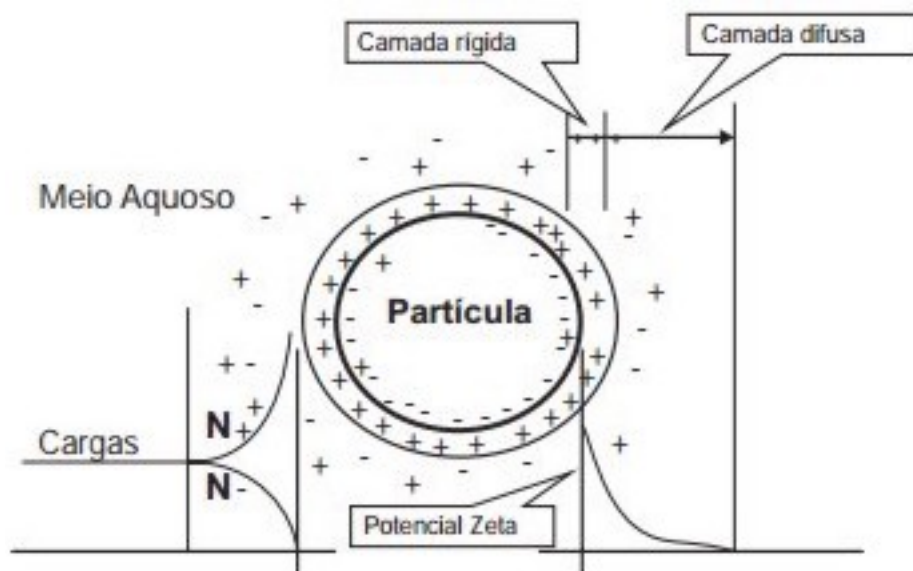
- 1) Interna: íons fortemente ligados à superfície
- 2) Exterior: a distribuição dos íons é determinada pelo equilíbrio entre forças eletrostáticas e movimento térmico.

O modelo da dupla camada elétrica é usado para visualizar o ambiente iônico na vizinhança da partícula coloidal e a intensidade dos potenciais elétricos

que ocorrem na superfície carregada (LIMA, 2007).

De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), a dupla camada é de extrema importância por ela é encarregada pela estabilidade do sistema coloidal, tornando impossível sua separação do líquido por meio da decantação.

A Figura 1 simboliza o comportamento da configuração da dupla camada elétrica.



**Figura 1 - Representação esquemática da dupla camada**  
Disponível em: <http://www.slideshare.net/guesta23b04/coagulao>

Segundo Schoenhals (2006), a desestabilização das partículas coloidais ocorre pelas forças de gravidade, Van der Waals e movimento Browniano. Sendo assim, o potencial de repulsão tem a função de manter afastadas duas partículas coloidais, partindo-se de uma distancia infinita, e quanto menor for a distância entre as partículas maior será essa força.

O potencial zeta diminui a medida que aumenta a concentração iônica da camada difusa. Sendo assim, De Paula (2006) afirma que a espessura da dupla camada diminui com a adição de eletrólitos não adsorvidos pela superfície, reduzindo as forças de repulsão, e conseqüentemente possibilitando a

aglomeração das partículas.

Dessa forma, há um decréscimo do potencial nessa região conforme aumenta a distancia em relação a partícula. É convencional de potencial zero o potencial da solução atingido a uma distancia suficientemente grande das partículas.

### 3.3.2 Potencial Zeta

O potencial zeta deve ser medido a fim de caracterizar a dupla camada. Para Svarovsky (2000) o potencial zeta serve para indicar o estado elétrico da dupla camada. Quando se aproxima a zero esse valor, a suspensão deveria tornar-se inviável, levando a clarificação.

Na realização da coagulação, esse potencial é um dos fatores mais importantes a ser controlado. De acordo com De Paula (2006), o potencial zeta é o potencial no plano de cisalhamento entre uma unidade - movimento de uma partícula e os íons fortemente ligados à mesma em um campo elétrico - e o meio ao seu redor.

Quando ocorre a adsorção de uma camada de macromoléculas na superfície da partícula, ela faz com que o plano de cisalhamento seja afastado para bem longe da superfície alterando assim o potencial zeta. Dessa maneira pode-se dizer que os fatores que influenciam o potencial zeta é a carga superficial da partícula, a adsorção de alguma camada na interface com o meio e a natureza e composição do meio. Esse potencial pode ser correlacionado com a repulsão eletrostática entre as partículas e com a estabilidade da suspensão, isso pelo fato dele refletir a carga efetiva das partículas (SVAROVSKY, 2000).

Para Azevedo Netto (1996), quanto maior a densidade e extensão da camada difusa, maior será a velocidade da partícula dispersa sob a ação de um campo elétrico, a medida que o atrito será menor entre as partículas e o líquido que contém a camada difusa. Sendo assim, é possível afirmar que o potencial

zeta é uma função da carga da camada difusa e sua extensão é proporcional à velocidade.

O potencial zeta é positivo quando as partículas migram do pólo positivo para o pólo negativo, e negativo quando ocorre o contrário (SHOENHALS, 2006).

Para prever e controlar a estabilidade das suspensões ou emulsões coloidais, De Paula (2006) cita que o potencial zeta pode ser usado. A autora explica que a probabilidade da suspensão ser mais estável é maior conforme o potencial é aumentado, isso ocorre visto que as partículas carregadas se repelem e a tendência à agregação é superada por essa força. As instabilidades coloidais são indicadas a partir dos valores baixos do potencial zeta, causando a agregação.

### 3.4 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Os termos coagulação e floculação são utilizados, praticamente, como sinônimos, uma vez que ambos significam o processo integral de aglomeração das partículas (CARDOSO, 2007). Mas, pode-se dizer que a coagulação é o processo por meio do qual o agente coagulante é adicionado à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, e a floculação é a aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, de modo a formar partículas maiores que possam sedimentar (RITCHER e AZEVEDO NETTO, 1991).

A coagulação é um processo comum no tratamento de água para desestabilizar impurezas coloidais e dissolvidas e para produzir grandes agregados de flocos que podem ser removidos da água nos processos subsequentes de sedimentação/filtração (GAO; HAHN; HOFFMANN, 2002). Este processo anula as forças de repulsão entre as partículas coloidais, por meio de mecanismos de ligação e adsorção na superfície da partícula coloidal, pela adição de agentes químicos, denominados eletrólitos.

É preciso uma grande energia, uma mistura rápida para dispersar adequadamente o coagulante e promover colisões de partículas para realizar uma boa coagulação. De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), para que o processo de coagulação seja eficiente, é preciso uma agitação intensa, pois é na unidade de mistura rápida que as interações do coagulante com a água ocorrem, formando espécies hidrolisadas.

Na floculação ocorre a agregação das partículas em suspensão. Essa aglomeração se dá em função das forças de Van Der Waals. A formação dos flocos pode ocorrer de maneira espontânea, apenas pelos sucessivos choques entre as várias partículas presentes, desde que o sistema possua energia disponível para tal, decorrente da agitação do sistema. No entanto, uma agitação muito intensa pode fazer com que os flocos formados se desagreguem espontaneamente (DE PAULA, 2006). Deste modo, diferente da mistura rápida, não é necessário essa agitação tão intensa.

Segundo Vaz (2009), “o processo de coagulação/floculação tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (turbidez) e/ou dissolvido (cor)”. Essas etapas são consideradas como um pré-tratamento e constituem a parte mais importante e delicada do tratamento de água, pois delas depende a eficiência a filtração.

### 3.5 COAGULAÇÃO

Segundo Gao, Hahn e Hoffmann (2002) e Lima (2007), a coagulação no tratamento de água é um processo comum que tem como objetivo desestabilizar as suspensões coloidais e dissolvidas, a fim de facilitar a agregação de flocos para fácil remoção nos processos subsequentes de sedimentação/filtração.

Lima (2007) explica que as substâncias encontradas em águas naturais e poluídas, além de provocarem turbidez e cor, não são capazes de sedimentarem naturalmente. Isso acontece devido ao tamanho microscópico e da baixa

velocidade de sedimentação da matéria orgânica natural.

De acordo com Di Bernardo & Dantas (2005), isso também acontece porque na água as partículas coloidais que conferem turbidez e cor possuem carga negativa. Ao se aproximarem uma das outras, há forças de atração (Van de Waals) ou de repulsão (devido à força eletrostática ou da dupla camada) atuando sobre elas, que estão em constante movimento. Por esse motivo impossibilita a agregação entre partículas, e conseqüentemente, a formação de flocos.

Conforme Brown, LeMay e Bursten (2005) e Cardoso (2003), a adição de produtos químicos adequados na água neutraliza as cargas superficiais das partículas, removendo as repulsões eletrostáticas que impedem que se agrupem e então facilitando a posterior remoção por meio de sedimentação, flotação ou filtração.

A coagulação pode ser descrita por dois fenômenos básicos:

- Fenômenos Químicos

Os fatores decisivos do mecanismo de coagulação são essencialmente o pH da coagulação e a dosagem do coagulante. De acordo com Lima (2007), ocorre a reação do coagulante com a água que forma espécies hidrolisadas de carga positiva – dependentes do pH final da mistura e da concentração – que neutralizam e/ou adsorvem os coloides.

- Fenômenos Físicos

As espécies hidrolisadas são transportadas para entrar em contato com as impurezas encontradas na água, provocando a redução do potencial zeta dos coloides.

Estas etapas ocorrem em mistura rápida e são denominadas de coagulação. Com o propósito de que ocorra a formação de partículas maiores a partir das colisões entre as impurezas, é preciso que ocorra uma agitação controlada para evitar a ruptura dos flocos em formação, etapa conhecida como floculação.

### 3.5.1 Mecanismos de Coagulação

O mecanismo de coagulação/floculação das impurezas que estão contidas nas águas brutas depende do tipo de coagulante utilizado, com o objetivo de se obter água tratada para fins domésticos ou industriais (SILVA, 2005).

A ação de desestabilização que alguns coagulantes promovem devem envolver alguns mecanismos, sendo eles: compressão da camada difusa; adsorção e neutralização; varredura; e adsorção e formação de pontes.

- Compressão da camada difusa

Neste mecanismo há a desestabilização das partículas coloidais pela adição de íons de carga contrária. De acordo com Carvalho (2005), “A introdução de um eletrólito indiferente (que não apresenta fenômenos de hidrólise ou de adsorção) [...] irá causar um aumento na densidade de cargas na camada difusa e diminuir a esfera de influência das partículas”. Ou seja, a desestabilização ocorre devido à interações de íons de mesma carga se repelindo e de carga oposta se atraindo pelos colóides.

Segundo Di Bernardo (1993), concentrações elevadas de íons positivos e negativos na água provoca o aumento de íons na camada difusa que tem seu volume reduzido para permanecer eletricamente neutra, de tal modo que as forças de Van der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática.

Spinelli (2001) afirma que há dois aspectos importantes relacionados a este mecanismo: primeiro, a quantidade necessária de eletrólitos para conseguir a coagulação é independente da concentração de colóide na água e, segundo, não é possível causar a reversão de carga dos colóides.

- Adsorção e neutralização

Para Di Bernardo e Dantas (2005), por não precisar da produção de flocos para posterior sedimentação, este mecanismo é de grande importância quando



se realiza o tratamento através de tecnologias de filtração direta, pois as partículas que serão desestabilizadas serão retiradas no meio granular dos filtros.

Na desestabilização dos coloides ocorrem interações entre coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente. As interações responsáveis pela adsorção do coagulante no meio de interação coloide-água são coagulante-solvente.

É comum a interação específica entre coagulante-coloide em casos de espécies hidrolisadas de alumínio de ferro ou de polímeros sintéticos catiônicos, sendo dominante o fenômeno de adsorção. Segundo Lima (2007), “neste tipo de desestabilização, as partículas presentes na água bruta adsorvem, em suas superfícies, produtos de hidrólise do alumínio ou ferro que neutralizam os ânions da superfície dos coloides”.

A neutralização antecede o processo de filtração direta em meio granular e é essencial para o aprimoramento do tratamento. Envolve a adsorção (por ação eletrostática ou alguma ação complexa na superfície) de um coagulante carregado positivamente na superfície do coloide com carga negativa, resultando em uma carga líquida aproximadamente zero.

É importante a realização da coagulação com dosagem maior no processo de varredura ou aplicação de auxiliar de floculação, porque de acordo com Lima (2007), somente a neutralização da carga não produzira macro-flocos necessários na operação de sedimentação ou flotação.

Na visão de Gregory e Duan (2001), há duas desvantagens para o tratamento de água com sedimentação e flotação ao se utilizar a tecnologia de desestabilização da carga por neutralização:

- 1) Controle preciso da dosagem do coagulante para uma ótima desestabilização;
- 2) Taxa de colisão das partículas e, conseqüentemente, a taxa de coagulação – dependem do quadrado da concentração de partículas, podendo ser muito baixa para suspensões diluídas.

Ambos problemas podem ser solucionados se altas taxas de coagulantes forem usadas, desde que considerável quantidade de precipitado de hidróxido amorfo são formado, adotando-se então a coagulação por varredura.

- Varredura

Nesta forma de coagulação poderá correr a formação de precipitados dependendo da dosagem do coagulante, do pH da mistura e da concentração de alguns íons presentes na água. Esses precipitados podem ser hidróxido de alumínio, hidróxido de ferro ou outro, dependendo do coagulante.

O mecanismo de varredura é intensamente utilizado nas estações de tratamento em que se tem a floculação e a sedimentação antecedendo a filtração, pois os flocos resultantes são de maior tamanho e apresentam velocidades de sedimentação relativamente maiores do que os dos flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização (SCHOENHALS, 2006).

Segundo Crittenden et al. (2012), este mecanismo predomina no tratamento da água em que se mantém o pH de coagulação entre 6 e 8, em que é usado o coagulante metálico de alumínio e ferro, com concentração de saturação que excede a de formação do hidróxido amorfo.

Segundo Pavanelli (2001) o mecanismo de varredura vem sendo bastante empregado em estações de tratamento em ciclo completo devido aos flocos formados serem maiores do que aqueles formados pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas; conseqüentemente suas velocidades de sedimentação são maiores.

- Adsorção e formação de pontes

Este mecanismo envolve a utilização de polímeros orgânicos sintéticos e naturais caracterizados por grandes cadeias moleculares, os quais servem como ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas.

Para Mendes (1989), explica-se o comportamento do polímero como coagulante através da sua adsorção à superfície das partículas coloidais,

seguida pela redução da carga ou pelo entrelaçamento das partículas na cadeia do polímero.

Segundo Spinelli (2001), esses polímeros podem ser classificados como:

- ⇒ Catiônicos: apresentam sítios ionizáveis positivos.
- ⇒ Aniônicos: apresentam sítios ionizáveis negativos.
- ⇒ Não iônicos: não apresentam sítios ionizáveis.
- ⇒ Anfóliticos: apresentam sítios ionizáveis negativos e positivos.

Tomando-se uma superfície plana carregada negativamente, em contato com um líquido que contenha íons positivos e negativos dissolvidos, haverá um acúmulo de cargas positivas, próximo às paredes (camada compacta) e, enquanto se afasta da mesma, o número de íons de cargas opostas tende a se igualar (camada difusa). Dá-se o nome de dupla camada ao sistema de cargas, a superfície do coloide e a camada de sinal contrário.

De acordo com Lima (2007), “a formação de pontes entre partículas coloidais ocorre quando um coagulante faz a ligação ou união entre os diversos coloides, capturando e juntando-os”. Para que se faça crescer rapidamente os flocos resistentes às forças de cisalhamento que provocam a ruptura, a formação de pontes é usada frequentemente em conjunto com a neutralização da carga.

### 3.5.2 Coagulantes

Muitos coagulantes são amplamente utilizados em processos de tratamento de água convencionais para a produção de água potável. Estes coagulantes podem ser classificados em inorgânico, polímero orgânico sintético e naturais. Estes coagulantes são usados para diversos fins, dependendo de suas características químicas (OKUDA et al., 2001).

Os coagulantes mais empregados são os inorgânicos (sais de alumínio e ferro), como por exemplo, o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o sulfato férrico. São também utilizados os coagulantes orgânicos com densidade de

carga positiva também chamados de polímeros catiônicos, que podem ser sintéticos ou naturais (quitosana, por exemplo) (SCHOENHALS, 2006). Sendo que a diferença entre os coagulantes metálicos dos polímeros catiônicos é em relação a reação hidrolítica com a água.

- Coagulantes Inorgânicos

Coagulantes inorgânicos, como sais de alumínio e ferro, são os mais usados. Quando aplicados corretamente, são bastante eficazes na remoção de sólidos em suspensão, além de serem disponíveis abundantemente e oferecerem um menor custo de obtenção.

De acordo com Tzoupanos e Zouboulis (2008), estes coagulantes apresentam algumas desvantagens no processo, tais como “necessidade de ajuste do pH antes ou depois do tratamento, a sensibilidade às mudanças de temperatura, a necessidade de doses elevadas porque a neutralização da carga geralmente não é suficiente, a sensibilidade às características da amostra e composição específicas, bem como a produção de lodo excessivo”.

Além destes problemas apresentados, há outros de grande preocupação à população, que seria as doenças neurodegenerativas relacionadas ao uso destes químicos.

- Coagulantes Orgânicos

Šćiban, Klašnja e Stojimirović (2005) e Billmeyer (1984) mencionam que os coagulantes que ocorrem naturalmente são biodegradáveis e supõe-se que seguros para a saúde, além de que o uso deste material não é uma ideia nova, pois vem sendo usado durante séculos no tratamento de água em áreas rurais.

De acordo com vários estudos relacionados a coagulantes naturais (Okuda et al. (2001) e Gámez, Luna-delRisco e Cano (2015)), eles são extraídos ou produzidos a partir de microrganismos, animais ou plantas. Deste modo, um exemplo de planta é a *Moringa oleifera*. Conforme Gámez, Luna-delRisco e Cano (2015, p. 3), sua semente “contêm óleo comestível e substâncias solúveis em

água contendo proteína na sua composição orgânica que pode agir como um eficaz coagulante”

### 3.5.3 Potencial Coagulante Natural

Muitos estudos, como o de Šćiban, Klašnja e Stojimirović (2005) e Vijayaraghavan, Sivakumar e Kumar (2011), são feitos com o objetivo de encontrar novos tipos de coagulantes naturais para substituir os químicos que são usados no processo de tratamento de água. *Zygia cauliflora* (Willd.) Killipé uma espécie da família Fabaceae, com potencial de fazer o mesmo papel que a moringa. Nativa do Brasil, o que a torna interessante para as estações de tratamento do país, caso ela sirva como coagulante natural, pois seria de fácil disponibilidade.

A *Zygia cauliflora* (Willd.) Killipé uma árvore vista em mata ripária e não se encontra ameaçada de extinção, porém não há muitas informações disponíveis sobre ela.

## 3.6 FLOCULAÇÃO

Floculação, um estágio de agitação lenta, consiste no aumento do tamanho da partícula de microfoco submicroscópico para partículas suspensas visíveis. De acordo com Schoenhals (2006) e MRWA (2009), as partículas estão desestabilizadas e são resultados da colisão de partículas de microfocos, levando-os a se unirem para formarem partículas maiores e mais densas, passíveis de separação.

Os gradientes que produzem tensão cisalhante nos flocos existentes são limitados para que não ultrapassem a capacidade de resistência ao cisalhamento dessas partículas (SCHOENHALS, 2006). Uma vez que os flocos tenham atingido força e tamanho ideal, a água esta pronta para o próximo processo.

Segundo Bartiko e De Julio (2015), a eficiência do processo de coagulação junto com alguns parâmetros característicos desta fase – gradiente de velocidade médio e tempo de floclulação; tipo e geometria do equipamento utilizado – afeta diretamente o desempenho da etapa de floclulação.

Para prevenir que o flocos se desfaçam, a velocidade de mistura e energia usada geralmente decrescem a partir do momento que os flocos começam a crescer. Caso os flocos se separem, é difícil fazer com que eles retomem ao aglomerado para que tenha tamanho e força ideal.

No processo de floclulação faz-se a distinção entre floclulação pericinéctica e ortocinéctica, sendo que no geral todas as partículas estão submetidas a estes dois tipos de floclulação. Conforme Tzoupanos e Zouboulis (2008), Bratby (1980) e Dalsasso (2005), o primeiro é um processo aleatório natural e promove a agregação das partículas a partir do movimento errático promovida pelas moléculas de água, decorrente da agitação térmica (movimento Browniano). A floclulação nesta fase começa imediatamente após a desestabilização e está completa em segundos, porque há um tamanho limitado do qual o movimento Browniano tem nenhum ou pouco efeito.

Segundo os mesmos autores, o segundo tipo de floclulação, conhecido como ortocinéctica, é criada pelas diferenças de velocidade dentro do líquido, tanto em regime laminar quanto tubular.

### 3.7 TESTE DE JARROS

A dosagem de coagulante e auxiliar de coagulação necessária para o tratamento de um efluente é de difícil determinação de forma analítica, pois existem complexas inter-relações entre o coagulante químico e os diversos componentes presentes nos efluentes a serem tratados, entre eles fatores como o pH, a temperatura, intensidade e duração da mistura. Para tanto, equipamentos conhecidos como *Jar-Test* são utilizados para obter a dosagem mais eficiente e econômica de coagulante para uma determinada intensidade e duração de mistura (SCHOENHALS, 2006).

O método consiste em utilizar seis béqueres ou jarros de 1 a 2 litros, e que tenham uma armação para estes recipientes e adotados de 6 agitadores impulsionados por um mesmo motor. Estes agitadores possuem um controlador de velocidade que mantém a rotação constante. Nestes recipientes são adicionados doses diferentes de coagulantes ou alcalinizantes para determinar qual a concentração ótima destes produtos a serem utilizados (Figura 2) (RICHTER, 2009).



**Figura 2 - Instrumento de *jar*test utilizado para a realização dos ensaios.  
Fonte: Elaborada pelo autor.**

O *Jar-test* tem como principal objetivo determinar a concentração de coagulante ideal para o tratamento, ou seja, se for adicionado muito ou pouco coagulante, a remoção do material suspenso não será tão eficiente. Em vista disso, este teste é aceitável para ser utilizado neste trabalho, que tem como intuito analisar qual seria a concentração ótima de coagulantes alternativos para o tratamento de água.



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

A água bruta utilizada nos testes foi coletada na Estação de Tratamento de Água da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), localizada na cidade de Campo Mourão.

Para a coleta de água foi utilizado galões de 5 litros, utilizados exclusivamente para este fim. A água bruta coletada foi mantida sob refrigeração no Laboratório de Saneamento (LABSAN) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão.

Sua caracterização se deu em relação aos parâmetros de cor, turbidez,  $UV_{254}$  e  $UV_{272}$  para futura conversão em matéria orgânica dissolvido (MOD).

### 4.2 EXTRAÇÃO E PREPARO DO COAGULANTE

As sementes utilizadas foram gentilmente cedidas pelo professor Luiz Augusto Gomes de Souza, do Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA). Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão.

Para a extração e o preparo do coagulante em meio salino, foi utilizado o método descrito por Sánchez-Martín et al. (2010).

#### 4.2.1 Extração

A casca da semente da *Zygia cauliflora* (Willd.) Killip foi removida manualmente e moída com a ajuda de um liquidificador doméstico. O pó foi desengordurado em etanol a 95% de concentração, utilizando um agitador magnético por 45 minutos.

O sobrenadante foi separado manualmente e disposto em tubos de vidros para que o pó resultante secasse na estufa a 60 °C durante três noites.

#### 4.2.2 Extração do Coagulante Salino

Para o planejamento experimental, foram utilizadas duas concentrações da solução salina de NaCl, de 1 M e 5 M.

Foi adicionado em um béquer de vidro 1 g da semente dessecada em 0,1 L de solução salina com concentração de 1 M, sendo utilizada então 5,84 g do sal. O coagulante salino foi extraído por turbólise durante 3 minutos com a solução salina, e logo após foi feita a agitação através de um agitador magnético por 30 minutos. A solução obtida foi filtrada a vácuo em papel de filtro de qualidade e em seguida em uma membrana de fibra de vidro de poro 0,9 µm.

O mesmo procedimento foi realizado para a concentração de 5 M, adicionando 29,22 g do sal.

Foi preparado também um coagulante em água destilada, sem adição de sal para futura comparação.

Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

### 4.3 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Os ensaios de coagulação/floculação foram executados no equipamento de *Jar Test6* da marca Nova Ética, com regulador de rotação das hastes misturadoras e jarros com capacidade de 1 L.

O uso do *Jar Test* permite determinar a dosagem ideal de coagulante ou auxiliar de coagulação necessária para provocar a clarificação da água bruta (DI BERNARDO, DI BERNARDO E CENTURIONE FILHO, 2002).

Em cada jarro, foram adicionadas quantidades da solução de coagulante pré-determinadas (Tabela 1), utilizando-se uma pipeta automática. A água para a realização dos ensaios estava em temperatura ambiente, foi utilizada sem qualquer correção ou ajuste de pH.

**Tabela 1 - Concentração da solução de coagulante em cada jarro.**

	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
<b>Quantidade da solução do coagulante (mL)</b>	0,1	0,5	1	2	3	4

O tempo de mistura rápida (TMR) foi estabelecido em 1 minuto, enquanto o tempo de mistura lenta (TML) foi fixado em 15 minutos. A velocidade do gradiente para a mistura rápida foi de 120 rpm, e para mistura lenta de 60 rpm. A metodologia para a execução dos ensaios foi descrita em Di Bernardo et al. (2002).

Após esse procedimento, as amostras permaneceram em repouso por 15 minutos para que ocorresse a sedimentação do material floculado.

Posteriormente, foram medidos os parâmetros cor, turbidez, UV<sub>254</sub> e UV<sub>272</sub> com as amostras da água tratada para verificar a eficiência do processo por meio da comparação dos resultados obtidos com a água bruta.

O mesmo ensaio foi feito com uma amostra sem adição de coagulantes, também conhecido como teste em branco.

#### 4.4 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA

##### 4.4.1 Cor

A cor aparente foi determinada com base nos procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association, 1999)*, através do equipamento de colorímetro de Digimed, modelo DM-COR.

##### 4.4.2 Turbidez

A turbidez foi determinada com base nos procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association, 1999)*, através do equipamento de Turbidímetro PoliControl, modelo AP2000 iR.

##### 4.4.3 UV<sub>254</sub> e UV<sub>272</sub>

O UV<sub>254</sub> e UV<sub>272</sub> foram determinados com base nos procedimentos descritos no *Standard Methods for*

*the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association, 1999), através do equipamento de espectrofotômetro HACH, modelo DR5000.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

Os resultados da caracterização da água bruta serão apresentados na Tabela 2 de acordo com os seguintes parâmetros: cor, turbidez, UV<sub>254</sub> e UV<sub>272</sub>.

**Tabela 2 - Resultados das análises físico-químico da água bruta.**

	Água Bruta
<b>Cor (uH)</b>	92,2
<b>Turbidez (NTU)</b>	76,3
<b>UV<sub>254</sub></b>	1,367
<b>UV<sub>272</sub></b>	2,278

### 5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM *Zygia cauliflora* (Willd.) Killip COMO POTENCIAL COAGULANTE NATURAL

Inicialmente foram realizados ensaios de *jar-test* sem adição de sal na água bruta e com concentrações pré-determinadas do coagulante. Para assegurar a veracidade dos resultados, os ensaios foram feitos em duplicata.

As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, os resultados obtidos a partir da remoção de cor e turbidez sem a adição de sal e após a adição de sal, assim como a Tabela 3.

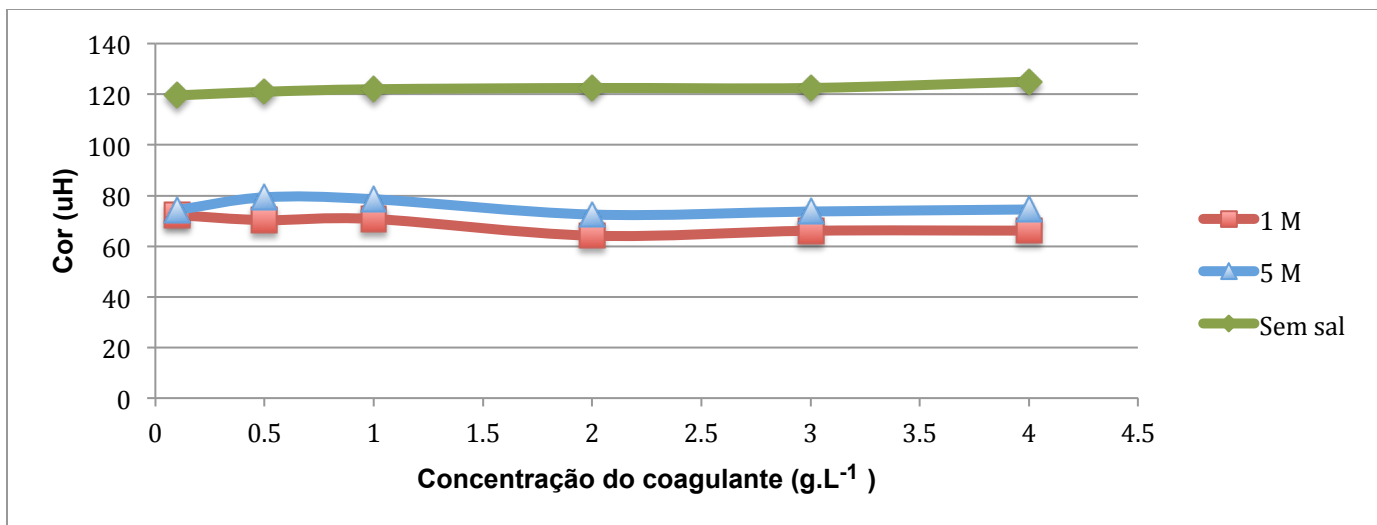


Figura 3 - Resultados dos ensaios para o parâmetro cor.

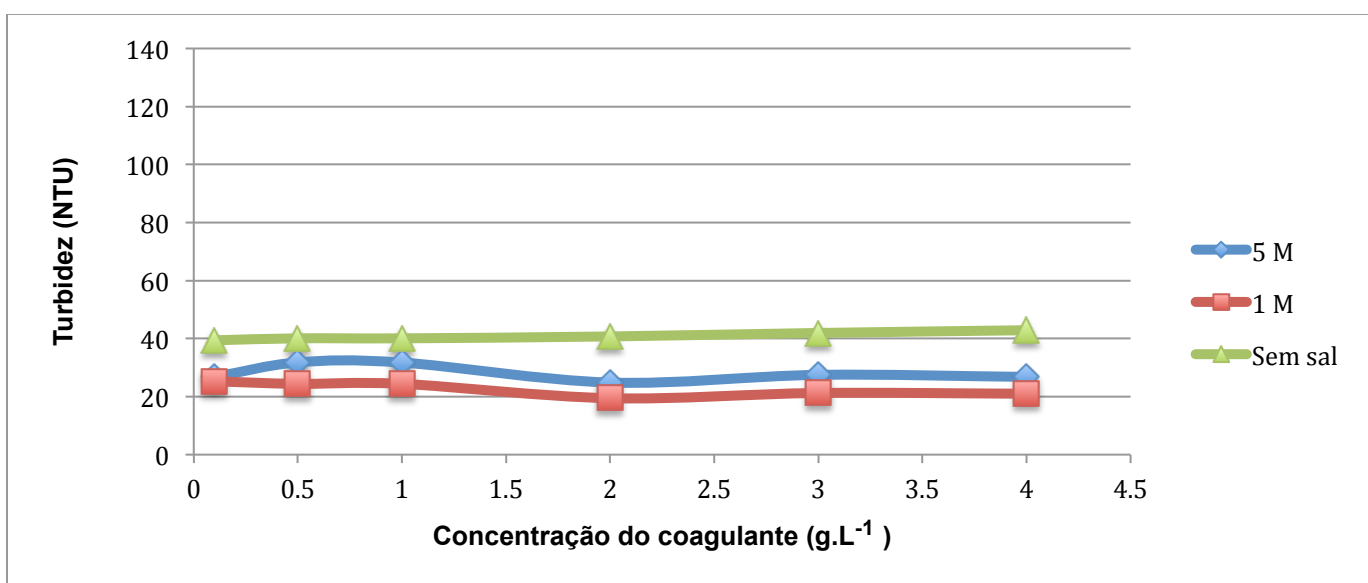


Figura 4 - Resultados dos ensaios para o parâmetro turbidez.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios para o parâmetro turbidez

Concentração do coagulante (g.L <sup>-1</sup> )	Cor (uH)			Turbidez (NTU)		
	Sem sal	1M	5M	Sem sal	1M	5M
0,1	119,5	72,25	74,25	39,4	25,25	26,75
0,5	121	70,3	79,3	40,1	24,4	31,8
1	122	70,75	78,55	40,1	24,4	31,75
2	122,5	64,15	72,5	40,75	19,45	24,85
3	122,5	66,1	73,7	41,95	21,25	27,5
4	125	66,15	74,5	42,9	21	26,8

A partir da análise da Figuras 3 e 4 e da Tabela 3, é possível observar que os resultados com a adição de sal apresentam resultados parecidos, demonstrando assim que não há grandes variações entre as concentrações de sal. Nota-se ainda que, ao aumentar as concentrações de coagulante, os resultados de remoção demonstram uma melhora significativa.

É possível também perceber que sem a adição de sal NaCl, a concentração do coagulante necessária é consideravelmente maior em comparação com os resultados obtidos com a adição de sal.

Como os resultados acima apresentados com a adição de sal foram muito semelhantes, as Tabelas 4 e 5 foram construídas de acordo com as porcentagens de remoção de cor e turbidez alcançadas durante os testes, para que esses mesmos resultados pudessem ser novamente analisados.



Tabela 4 - Resultado em porcentagem da remoção de cor.

Concentração do coagulante (g.L <sup>-1</sup> )	Remoção de cor (%)	
	1M	5M
0,1	21,6	19,5
0,5	23,7	14
1	23,3	14,8
2	30,4	21,4
3	28,3	20,1
4	28,2	19,2

Tabela 5 - Resultado em porcentagem da remoção de turbidez.

Concentração do coagulante (g.L <sup>-1</sup> )	Remoção de turbidez (%)	
	1M	5M
0,1	67	64,9
0,5	68	58,3
1	68	58,4
2	74,5	67,4
3	72,1	64
4	72,5	65

Assim como já foi observado na análise anterior, a Tabela 4 comprova que os resultados são realmente muito próximos. No entanto, para ambas concentrações de sal de 1M e 5M, foram possíveis observar que há uma melhor eficiência da remoção de cor nas concentrações de 2 g.L<sup>-1</sup>, sendo 30,4% e 21,4% de remoção, respectivamente; e de 3 g.L<sup>-1</sup>, atingindo 28,3% e 20,1% de remoção, respectivamente.

Um comportamento parecido é visto na remoção de turbidez, apresentado na Tabela 5. Para a concentração de 2 g.L<sup>-1</sup> obteve-se eficiência de 74,5% e de 67,4% para as concentrações de sal a 1M e a 5M, respectivamente. Para a concentração de 4 g.L<sup>-1</sup>, remoção de 72,5% e de 65% para as concentrações de sal a 1M e a 5M, respectivamente.

Para as três concentrações de sal e coagulante que apresentaram melhor resultados, foi construída a Tabela 6.

**Tabela 6 - Melhores resultados encontrados na análise de remoção de cor e turbidez.**

Concentração do coagulante (g.L <sup>-1</sup> )	Remoção (%) para 1M		Remoção (%) para 5M	
	Cor	Turbidez	Cor	Turbidez
2	30,4	74,5	21,4	67,4
3	28,3	72,1	20,1	64
4	28,2	72,5	19,2	65

Através da Tabela 6, verifica-se, ainda, diferenças ao comparar os tipos de concentração de sal e a quantidade de coagulante. Para a concentração de 1M de NaCl, os resultados obtidos foram mais eficientes do que o de 5M. Além disso, para a concentração de 2 g.L<sup>-1</sup>, os valores foram mais relevantes mesmo com uma pequena diferença com o de 3 g.L<sup>-1</sup> e 4 g.L<sup>-1</sup>. Dessa forma, obteve-se rendimento mais satisfatório para a concentração de 1M de NaCl para os parâmetros analisados de cor e turbidez, sendo 30,4% e 74,5% de remoção respectivamente.

Com base nos resultados, observa-se que a remoção dos parâmetros analisados é mais eficiente na presença de solução salina. Estudos anteriores (MADRONA et al., (2010); NKURUNZIZA et al., (2009); NISHI et al., (2011)) mostram que os menores valores dos parâmetros cor e turbidez são obtidos em água de alta turbidez inicial, ou seja, com a adição de sal nos ensaios.

Nkurunziza et al. (2009) utilizou concentração de 1M de NaCl em seus ensaios, obtendo então eficiência de remoção de 99,8% de turbidez na água onde havia um alto valor de turbidez inicial. Nishi et al. (2011) obteve remoção de até 96,4% de cor, apresentando mesmo comportamento de remoção semelhante a dados da literatura.

Toda água destinada ao abastecimento público deve obedecer os padrões de qualidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde na Portaria nº 2.914 de 2011. Para os parâmetros de cor e turbidez, a portaria estabelece que os valores máximos permitidos são 15 uH e 1 NTU, respectivamente. Os valores alcançados após a realização dos ensaios estão acima do valor máximo permitido, porém houve redução significativa em relação ao valor da água bruta antes do tratamento.

A Tabela 7 mostra os resultados da análise em relação a remoção de UV<sub>254</sub>, indicativo de matéria orgânica dissolvida.

**Tabela 7 - Resultados da análise de remoção de UV<sub>254</sub>.**

Concentração do coagulante (g.L <sup>-1</sup> )	Remoção de UV <sub>254</sub> (%)	
	1M	5M
0.1	69,8	69,1
0.5	66,4	67,9
1	69,1	69,3
2	70,2	70,1
3	68,8	69,4
4	69,1	70,1

Assim como já foi constatado em análises anteriores de cor e turbidez, a concentração de 2 g.L<sup>-1</sup> do coagulante para a adição de 1M do sal apresenta melhor remoção de UV<sub>245</sub>.

A Tabela 8 mostra os resultados da análise em relação a remoção de UV<sub>254</sub>, também um indicativo de matéria orgânica dissolvida

Tabela 8 - Resultado em porcentagem da remoção de UV<sub>272</sub>.

Concentração do coagulante (g.L <sup>-1</sup> )	Remoção de UV <sub>272</sub> (%)	
	1M	5M
0,1	21,6	22,5
0,5	21	22,3
1	21,5	22,8
2	21,5	23,1
3	21,2	23,1
4	21,6	22,4

Para saber a concentração de matéria orgânica dissolvida a partir do UV<sub>272</sub>, utilizou-se a Equação 1, método proposto por Khan et al. (2014).

$$\text{MOD (mg.L}^{-1}\text{)} = 518,93 \times \text{Absorbância (272nm)} + 1,065 \quad (\text{Equação 1})$$

Os resultados da conversão de UV<sub>272</sub> para matéria orgânica dissolvida (MOD) encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados para a concentração de MOD.

Concentração do coagulante (g.L <sup>-1</sup> )	1M	5M
	Concentração de MOD (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentração de MOD (mg.L <sup>-1</sup> )
0,1	927,4	917,5
0,5	934,6	920,1
1	928,9	913,3
2	929,4	910,2
3	932	910,2
4	927,9	918,5

A detecção da matéria orgânica dissolvida (MOD) na água é necessária pois ela é constituída, de acordo com Montovani e Novo (1996) “de um conjunto de substâncias provenientes da excreção, secreção e de processos intermediários da decomposição de organismos terrestres e aquáticos”, influenciando assim na aparência da água, dentre outras consequências.

A partir da Tabela 8, é possível verificar variações entre resultados de ambas as concentrações de sal. A menor concentração de MOD encontra-se na adição de 5M do sal e mesmo resultado na adição de 2 g.L<sup>-1</sup> e 3 g.L<sup>-1</sup>, contrariando resultados anteriores.

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com os dados apresentados, é possível verificar que a semente de *Zygia cauliflora* (Willd.) Killip tem potencial para ser utilizado como coagulante natural, sendo uma boa alternativa para melhorar a qualidade da água para abastecimento humano.

Os ensaios realizados apresentaram resultados convincentes, expondo o potencial para utilizá-lo como coagulante, com 30,4% e 74,5% de remoção de cor e turbidez, respectivamente.

É interessante realizar mais testes futuramente realizando alterações, como a concentrações do coagulante, entre outras variáveis durante a fase de teste do *jar test*, para encontrar resultados mais satisfatórios que comprovem a eficiência como coagulante natural.

É viável também a realização de testes com a semente como auxiliar natural de coagulação, visando diminuir a dosagem dos coagulantes químicos utilizados durante o tratamento. Durante a fase de coagulação, é consumido quantidades consideráveis de coagulantes químicos, prejudicando a saúde humana.

## REFERENCIAS

Araújo, Emiliano A.; Andrade, Nélio J. de; Carvalho, Antônio F. de; RAMOS, Afonso M; SILVA, Cleuber A. de S.; SILVA, Luis H. M. de. Aspectoscolidais da adesão de micro-organismos.**Química Nova**, vol. 33, n. 9, p. 1940-1948, set. 2010.

American Public Health Association.**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 1999.

AZEVEDO NETTO, J. M. Técnicas de abastecimento e tratamento de água. V.. 2, **CETESB**, São Paulo. 1976.

AZEVEDO NETTO, J.M. et al. Técnicas de abastecimento e tratamento de água. 3. ed. v. 1. São Paulo: **CETESB/ASCETESB**, 1987.

BABBITT, H. E. Abastecimento de água. São Paulo, **EdgardBlücherLtda**, 1973.

BARTIKO, Daniel; DE JULIO, Marcelo.Construção e emprego de diagramas de congulaçãocomoferramentapara o monitoramentocontínuo da floculaçãomáguas de abastecimento. **RevistaAmbiente&Água**.Taubaté, v, 10, n. 1, 2015.

BILLMEYER Jr., Fred W. **Textbook of Polymer Science**. Jonh Wiley & Sons, 3rd ed New York, 1984.

BONDY, Stephen C. The neurotoxicity of environmental aluminum is still an issue. **Neurotoxicology**, p. 575-581. Elsevier, 2010.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. L.; MIERZWA, José C.; BARROS, Mario T. L. de; SPENCER, Milton; PORTO, Monica; NUCCI, Nelson; JULIANO, Neusa; EIGER, Sérgio. **Introdução à engenhariaambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRATBY, John. Coagulation and Flocculation: With an emphasis on water and wastewater treatment. **Uplands Press Ltd**. 1980.

BROWN, Theodore L.; LE MAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E. .Química: Ciência Central. **Pearson Education**, 2005.

CARDOSO, Márcio. Efeito do tipo de coagulantenaprodução d lodo de estação de tratamento de água. Dissertação (MestradoemEngenhariaAmbiental).Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CARDOSO, Karina C. **Estudo do processo de coagulação-floculação por meio da *Moringaoleifera* LAM para obtenção de água potável.** Dissertação de Mestrado. Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, 2007.

CARDOSO, Karina C., BERGAMASCO, Rosângela, COSSICH, Eneida S., KONRADT-MORAES, Leila C., Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringaoleifera* Lam. **Acta Scientiarum – Technology**. V. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CARVALHO, Renalda M. **Clarificação de águas pluviais ricas em óxidos de ferro acumuladas em cava de mineração através da utilização de um coagulante natural, a *Moringaoleifera*.** 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CARVALHO, Maria José H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CRITTENDEN, John C.; TRUSSELL, R. R.; HAND, DAVID W.; HOWE, KERRY J.; TCHOBANOGLOUS, George. **Water treatment: principles and design. MWAH**, 3 ed., 2012.

DALSASSO, Ramon L. **Estudo de diferentes materiais para floculação em meio granular, precedendo a filtração rápida descendente no tratamento de água para abastecimento.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DE PAULA, Samira L. **Clarificação do Extrato Aquoso de *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni Utilizando Polímeros Naturais.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

DI BERNARDO, Luiz. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rima**, v. 1, Rio de Janeiro, 1993.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, A. D. B. 2005. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2 ed., v. 1, São Carlos, **Rima**, 2005.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; CENTURIONE FILHO, Paulo L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** São Carlos, **Rima**, 2002.

GÁMEZ, Lorena L. S.; LUNA-DEL RISCO, Mario; CANO, Roberto E. S.



Environmental Monitoring and Assessment. **Comparative study between M. oleifera and aluminum sulfate for water treatment: case study Colombia**. V. 187, n. 10, out. 2015.

GAO, B. Y.; HAHN, Hermann H.; HOFFMANN, Erhard. Evaluation of aluminum-silicate polymer composite as a coagulant for water treatment. **Water Research**. P. 3573–3581, 2002.

GREGORY, John; DUAN, Jinming. Hydrolyzing metal salts as coagulants. **Pure and Applied Chemistry**, vol. 73, n. 12, p. 2017-2016, 2001.

FLATEN, Trond P. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. **Brain Research Bulletin**. V. 55, n. 2, p. 187-196, mai. 2001.

Khan, S., Yaoguo, W., Xiaoyan, Z., Jingtao, L., Jichao, S., Sihai, H., 2014, Estimation of concentration of dissolved organic matter from sediment by using uv-visible spectrophotometer. **International Journal of Environmental Pollution and Remediation**. V. 2, p. 24-29, 2014.

LIMA, Guilherme J de A. **Uso de polímero natural doquiabocomo auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MADRONA, Grasiela S., SERPELLONI, Geovanna B., VIEIRA, Angélica M. S., NISHI, Letícia, CARDOSO, Karina C., BERGAMASCO, Rosângela. Study of the effect of saline solution on the extraction of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment. **Water, Air and Soil Pollution**. V. 211, p. 409–415, 2010.

MCKETTA, John J. Unit Operations Handbook. New York: **Marcel Dekker, Inc.**, v. 2, 1993.

MENDES, Carlos G. N. **Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

MONTAVANI, Jose E.; NOVO, Evelyn M. L. De M. Comportamento Espectral da Matéria Orgânica Dissolvida. **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Salvador, p. 917-923, 1996.

MOTA, Suetonio. Introdução à engenharia ambiental. 1 ed. Rio de Janeiro: **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES**. 1997.

MRWA. **Minnesota Water Works Operations Manual**. 4 ed., 2009.

NASCIMENTO, Keityla K. R. do. **Estudo da Evolução da portaria de potabilidade brasileira**. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

NISHI, Letícia; MADRONA, Grasielle S.; VIEIRA, Angélica M. S., BASSETI, F. J.; SILVA, Gabriel F.; BERGAMASCO, Rosângela. **Coagulação/Floculação com Sementes de *Moringaoleifera* Lam para Remoção de Cistos de *Giardia* spp. e Oocistos de *Cryptosporidium* spp. da água**. 3rd International Workshop: Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2011.

NKURUNZIZA, T., NDUWAYEZU, J.B., BANADDA, E.N., NHAPI, I., The effect of turbidity levels and *Moringaoleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. **Water Science and Technology**, p. 1551–1558, 2009.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Água e saúde**. 2001.

OKUDA, Tetsuji; BAES, Aloysious, U.; NISHIJIMA, Wataru; OKADA, Mitsumada. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringaoleifera* seed by salt solution. **Water Research**. V. 35, n. 2, p. 405-410, 2001.

Pavanelli, Gerson. (2001). **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo/SP. 216p.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José M. de. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: **Edgard Blücher**, 1991.

RITCHER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José M. de. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo, **Edgard Blücher**, 2003.

SÁNCHEZ-MARTÍN, Jesús; GHEBREMICHAEL, Kebeab; BELTRÁN-HEREDIA, J. Comparison of single-step and two-step purified coagulants from *Moringaoleifera* seed for turbidity and DOC removal. **Bioresource Technology**, p. 6259-6261, 2010.

Šćiban, Marina B.; Klašnja, Mike T.; Stojimirović, Jelena Lj. Investigation of coagulation activity of natural coagulants from seeds of different leguminose species. **APTEFF**, 36, 1-266. 2005.

SCHOENHALS, Marlise. **Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, Cleusa A. **Estudos aplicados ao uso da moringa oleifera como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SPINELLI, Viviane A. **Quitosana: polieletrólito natural para o tratamento de água potável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, Santa Catarina. 2001.

SVAROVSKY, Ladislave. **Solid-Liquid Separation**. FPS Institute, England and university of Pardubice, Czech Republic, 4th ed, Planta Tree, 2000.

TZOUPANOS, Nikos D.; ZOUBOULIS, Anastasious I. Coagulation-flocculation processes in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents. **International Conference on heat transfer, thermal engineering and environment**. 2008.

VAZ, Luiz G. de L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente líquido gerado na galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VIANNA, Marcos R. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. Belo Horizonte, **Instituto de Engenharia Aplicada**, 2 ed., p. 344, 1992.

VIJAYARAGHAVAN, G.; SIVAKUMAR, T.; VIMAL KUMAR, A. Application of plant based coagulants for waste water treatment. **International Journal of Advanced Engineering Research and Studies**. V. 1, n. 1, p. 88-92, out-dez. 2011.

ZUMACH, Rosalene. **Enquadramento de curso de água Rio Itajaí-Açu e seus principais efluentes em Blumenau**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.