

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MÔNICA CARMINATI SCARIOTTO

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA GOMA XANTANA COMO AUXILIAR
NO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO EM TRATAMENTO DE ÁGUA
PARA ABASTECIMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2013

MÔNICA CARMINATI SCARIOTTO

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA GOMA XANTANA COMO AUXILIAR
NO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO EM TRATAMENTO DE ÁGUA
PARA ABASTECIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
do Curso Superior de Engenharia Ambiental da
Coordenação de Engenharia Ambiental – COEAM
- da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
– UTFPR, Câmpus Campo Mourão, como requisito
para obtenção de título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Flávia Vieira da Silva
Medeiros

CAMPO MOURÃO

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Engenharia Ambiental - COEAM
Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA GOMA XANTANA COMO AUXILIAR NO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO EM TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

por

MÔNICA CARMINATI SCARIOTTO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 09 de setembro de 2013 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.

DRA. FLÁVIA VIEIRA DA SILVA MEDEIROS

DR. JOSÉ HILTON BERNARDINO DE ARAÚJO

MSC. DIANA FORMENTINI

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental.

Dedico este trabalho aos meus pais, os quais sempre me apoiaram e incentivaram. Meus maiores exemplos, a quem sou grata eternamente.

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão e carinho são tão grandes que é impossível transcrever tudo para uma folha de papel. Gostaria de agradecer a Deus, a todos os amigos que fizeram parte desta fase da minha vida e, principalmente, a minha família.

Agradeço aos meus pais, Cezar Scariotto e Maria Inez Carminati, pela confiança, paciência e suporte dados a mim durante a graduação. Sem vocês eu não conseguiria chegar aonde cheguei e espero sempre fazê-los orgulhosos. E a minha irmã Tatiana pela ajuda, incentivo e carinho dados a mim sempre. Tenho você como um exemplo a seguir.

Agradeço também a minha segunda família, Fernanda Borges e Nayara Romano, pela paciência nos meus momentos mais difíceis, pela cumplicidade nas horas mais divertidas e pela amizade que quero levar para a minha vida inteira. Aproveito esta oportunidade para pedir desculpas se, por algum momento, eu as privei de algo por conta do meu egoísmo. Esta caminhada não faria sentido nenhum sem vocês.

A minha orientadora e “mãe científica” Flávia Medeiros, por ter dedicado seu tempo, me acompanhado e me direcionado na fase final da minha graduação.

Agradeço aos meus amigos do “Período Fatorial”, principalmente ao Murilo Umada e Sara Gois, e também agradeço a Bruna Scipioni, por todos os momentos bons e ruins que tivemos durante esses cinco anos. Por muito tempo não havia percebido, mas agora eu sei que estive no lugar certo e que escolhi os amigos certos, e afirmo com toda a certeza de que vocês fizeram tudo valer a pena.

Quero agradecer ao Renato Notari pela oportunidade de estágio e pelos ensinamentos durante este período, a Laís Vernasqui pela grande ajuda na correria entre um laboratório e outro, aos membros da Habitat Consultoria Ambiental por me ensinarem o verdadeiro trabalho em equipe e ao Ian Lucena pela ajuda final no meu Trabalho de Conclusão de Curso.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a SANEPAR pelos recursos fornecidos para que este trabalho pudesse ser concluído.

“Que os nossos esforços desafiem as
impossibilidades. Lembrai-vos de que as
grandes proezas da história foram
conquistas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin.

RESUMO

SCARIOTTO, M. C. **Estudo da utilização da goma xantana como auxiliar no processo de floculação em tratamento de água para abastecimento.** 2013. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

O tratamento de água convencional envolve a adição de produtos químicos à água, com a finalidade de remover impurezas e manter os parâmetros de qualidade de acordo com os exigidos pela legislação vigente. O sulfato de alumínio é o coagulante químico mais utilizado devido ao baixo custo, porém o uso deste coagulante tem sido questionado por haver indícios de que os resíduos de alumínio na água estão relacionados com doenças de Parkinson e Alzheimer. Estes resíduos também ficam acumulados no lodo, podendo gerar problemas com a disposição final do mesmo. Como alternativa, os polímeros naturais têm sido utilizados como auxiliares de coagulação, floculação e filtração, e têm obtido resultados satisfatórios, pois reduzem a necessidade de grandes quantidades de coagulante primário e geram um lodo mais biodegradável. A goma xantana é um polímero natural, aniônico, atóxico e biodegradável, que pode ser utilizado como auxiliar de floculação no tratamento de água. O presente estudo teve como principal objetivo determinar as concentrações ótimas de goma xantana combinadas com as concentrações mais baixas de policloreto de alumínio, de modo a garantir a redução do coagulante primário e a qualidade da água tratada. Todos os ensaios foram realizados em *Jar Test*, e para a água bruta e tratada foram feitas a caracterização de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. Para os parâmetros de cor e turbidez a remoção foi 94,8% e 99,7%, respectivamente. A remoção de coliformes termotolerantes obteve uma redução de 100%, e para coliformes totais foi de 98,8%. A goma xantana foi eficiente como auxiliar de floculação, combinada com policloreto de alumínio.

Palavras-chave: **Coagulação. Floculação. Polímeros naturais. Goma xantana.**

ABSTRACT

SCARIOTTO, M. C. **Study of using xanthan gum as an aid in the flocculation process in treatment of potable water**. 2013. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

The conventional water treatment involves the addition of chemicals to the water in order to remove impurities and maintain the quality parameters according to the required law. Aluminum sulfate is the most commonly used coagulant chemicals due to low cost, but the use of this coagulant has been questioned because there is evidence that the aluminum residues in water are related to Alzheimer's and Parkinson's diseases. These residues are also accumulated in the sludge, which may cause problems with the final disposition of that. Alternatively, natural polymers have been used as aids coagulation, flocculation and filtration, and have achieved satisfactory results because they reduce the need for large amounts of primary coagulant and produce a more biodegradable sludge. Xanthan gum is a natural polymer, anionic, non-toxic and biodegradable, which can be used as flocculation aids for water treatment. The present study aimed to determine the optimal concentrations of xanthan gum combined with lower concentrations of aluminum polychloride to ensure the reduction of primary coagulant and treated water quality. All tests were performed in Jar Test, and for raw water and treated water were made physical-chemical and bacteriological characterization. For parameters of color and turbidity, the removing was 94.8% and 99.7%, respectively. The removing of thermotolerant coliforms obtained a reduction of 100%, and total coliforms was 98.8%. Xanthan gum was effective as an aid flocculant combined with aluminum polychloride.

Keywords: Coagulation. Flocculation. Natural polymers. Xanthan gum.

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

APHA - American Public Health Association

ETA – Estação de Tratamento de Efluentes

g – gramas

mg - miligrama

mg/L – miligramas por litro

min – minutos

MS – Ministério da Saúde

NTU – Nephelometric Turbidity Units

PAC – policloreto de alumínio

pH – potencial hidrogeniônico

ppm – partes por milhão

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

TML – tempo de mistura lenta

TMR – tempo de mistura rápida

UFC – Unidades Formadoras de colônias

UV- ultravioleta

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tecnologias de Tratamento de Água para Consumo Humano	17
Figura 2 - Estrutura básica da goma xantana.....	26
Figura 3 - Localização da Estação de Tratamento de Água da SANEPAR, no município de Campo Mourão.	30
Figura 4 - Solução padrão de coagulante.	32
Figura 5 - Solução padrão de alcalinizante.	32
Figura 6 - Goma xantana em pó.....	34
Figura 7 - Solução padrão de goma xantana diluída a frio.....	34
Figura 8 - Solução padrão de goma xantana diluída a quente.	34
Figura 9 - Ensaio para a determinação da concentração ótima de coagulante.....	35
Figura 10 - Ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação.....	37
Figura 11 - Cabine de fluxo laminar.	41
Figura 12 - Água bruta.	43
Figura 13 - Água tratada.	44
Figura 14 - Resultados de cor no ensaio de determinação da concentração ótima de coagulante PAC para: Jarro 1 (5 ppm), Jarro 2 (7 ppm), Jarro 3 (9 ppm), Jarro 4 (11 ppm), Jarro 5 (13 ppm) e Jarro 6 (15 ppm).	44
Figura 15 - Resultados de turbidez no ensaio determinação da concentração ótima de coagulante PAC para: Jarro 1 (5 ppm), Jarro 2 (7 ppm), Jarro 3 (9 ppm), Jarro 4 (11 ppm), Jarro 5 (13 ppm) e Jarro 6 (15 ppm).	45
Figura 16 - Formação de flocos com solução de goma xantana diluída a frio.....	46
Figura 17 - Formação de flocos com solução de goma xantana diluída a frio.....	46
Figura 18 - Flocos formados após desligar o Jar Test.	46
Figura 19 - Flocos formados uma hora após desligar o Jar Test.	46
Figura 20 - Resultados de cor no ensaio com solução padrão de goma xantana diluída a frio para: Jarro 1 (0,2 ppm), Jarro 2 (0,4 ppm), Jarro 3 (0,6 ppm), Jarro 4 (0,8 ppm), Jarro 5 (1,0 ppm) e Jarro 6 (1,2 ppm).	47

Figura 21 - Resultados de turbidez no ensaio com solução padrão de goma xantana diluída a frio para: Jarro 1 (0,2 ppm), Jarro 2 (0,4 ppm), Jarro 3 (0,6 ppm), Jarro 4 (0,8 ppm), Jarro 5 (1,0 ppm) e Jarro 6 (1,2 ppm).	48
Figura 22 - Resultados de cor no ensaio com solução padrão de goma xantana diluída a quente para: Jarro 1 (0,2 ppm), Jarro 2 (0,4 ppm), Jarro 3 (0,6 ppm), Jarro 4 (0,8 ppm), Jarro 5 (1,0 ppm) e Jarro 6 (1,2 ppm).	49
Figura 23 - Resultados de turbidez no teste no teste com solução padrão de goma xantana diluída a quente para: Jarro 1 (0,2 ppm), Jarro 2 (0,4 ppm), Jarro 3 (0,6 ppm), Jarro 4 (0,8 ppm), Jarro 5 (1,0 ppm) e Jarro 6 (1,2 ppm).	50
Figura 24 - Comparação do parâmetro microbiológico entre a água bruta e tratada.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dosagem de alcalinizante e coagulante utilizada no ensaio de determinação da concentração ótima de coagulante.	35
Tabela 2 - Concentrações de alcalinizante, coagulante e solução de goma xantana no ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação (solução Fria).	37
Tabela 3 - Concentrações de alcalinizante, coagulante e solução de goma xantana no ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação (solução Quente).	38
Tabela 4 - Caracterização da água bruta.	42
Tabela 5 - Resultados cor e turbidez para ensaios com PAC, goma fria e quente, para a concentração de 5 ppm de PAC e 0,4 ppm de goma.	51
Tabela 6 - Caracterização da água tratada.	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 CLARIFICAÇÃO E DESINFECÇÃO DA ÁGUA	17
3.2 COAGULAÇÃO	18
3.3 FLOCULAÇÃO	19
3.4 POLÍMEROS COMO AUXILIARES DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO	20
3.4.1 Polímeros Sintéticos	21
3.4.2 Polímeros Naturais	22
3.5 GOMA XANTANA	24
3.5.1 Biopolímeros e gomas industriais	24
3.5.2 Goma xantana e mercado	25
3.5.3 Propriedades da goma xantana	26
3.5.4 Goma xantana como auxiliar de floculação	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 LOCALIZAÇÃO	29
4.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA	30
4.3 ENSAIOS COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	31
4.3.1 Preparo das soluções de alcalinizante, coagulante e auxiliar de floculação	31
4.3.2 Ensaio para a determinação da concentração ótima de coagulante	34
4.3.3 Ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação	36
4.4 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA E TRATADA	38
4.4.1 Cor	39
4.4.2 Turbidez	39
4.4.3 Sólidos	39
4.4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)	39
4.4.5 Nutrientes- Nitrogênio e Fósforo	40
4.4.6 Acidez e alcalinidade	
4.4.7 Bacteriológico	40
5 RESULTADOS	42

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA	42
5.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO.....	43
5.2.1 Ensaio para a determinação da concentração ótima de coagulante.....	43
5.2.2 Ensaio com a goma xantana como auxiliar de floculação – solução padrão Fria	46
5.2.3 Ensaio com a goma xantana como auxiliar de floculação – solução padrão Quente .	48
5.2.4 Análise comparativa entre os testes sem goma, com goma diluída a frio e a quente. .	50
5.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA TRATADA.....	52
CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

A água para consumo humano deve estar em conformidade com os parâmetros estabelecidos pelas normas vigentes, de tal forma que a segurança populacional seja promovida.

Segundo Figueirêdo (2004), o tratamento prévio da água é de fundamental importância para o consumo humano, pois confere à água características de potabilidade e boa aparência ao eliminar impurezas presentes.

De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), as águas brutas que apresentam graus elevados de turbidez e cor, com presença de matéria coloidal, exigem processos convencionais de tratamento que incluem a coagulação química. Neste caso, o tratamento abrange as seguintes fases sucessivas: mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

As eficiências qualitativa e quantitativa das unidades de tratamento dependem das operações de pré-tratamento (coagulação e floculação), que influem diretamente na sedimentação e indiretamente na filtração (LEME, 1990).

De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), os termos coagulação e floculação são frequentemente usados como sinônimos, ambos significando o processo integral de aglomeração das partículas. Porém a coagulação é um processo no qual coagulantes são adicionados à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, e a floculação é a aglomeração das partículas por efeito de transporte de fluido, de modo a formar partículas de maior tamanho que possam sedimentar por gravidade.

Leme (1990), afirma que entre os coagulantes químicos empregados na remoção da turbidez, bactérias, cor e outros materiais existentes na água, encontram-se os compostos de ferro e alumínio. Os sulfatos de alumínio e ferro são normalmente os mais empregados por serem os mais baratos.

No entanto, segundo Silva (1999), o sulfato de alumínio dependendo da dosagem é tóxico e pode provocar doenças de demência e coordenação motora, devido à deficiência renal em filtrar os metais do sangue que é levado ao cérebro, como Alzheimer e Parkinson.

Figueirêdo (2004), também afirma que os resíduos de alumínio na água, provenientes do sulfato de alumínio, podem contribuir para algumas doenças no

organismo humano, como osteoporose, hiperatividade e dificuldade de aprendizado em crianças.

Como alternativa Azevedo Netto (1966), destaca que estudos sobre a aplicação de polieletrólitos, também conhecidos como polímeros, são feitos para melhorar as condições de coagulação e acelerar a decantação.

Polímeros sintéticos e naturais (amidos em geral) têm sido utilizados como auxiliares de coagulação, floculação e filtração. O emprego de pequenas quantidades desses auxiliares reduzem consideravelmente as dosagens de coagulantes primários, quando estes são sais de alumínio ou ferro (AZEVEDO NETTO, 1966; DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Dentre os diversos polímeros naturais usados como auxiliares em tratamento de água de abastecimento, o mais comumente utilizado é o amido (KIRCHMER, ARBOLEDA; CASTRO, 1975). Além do amido, podem ser citados a quitosana que, conforme Spinelli (2001), em pH apropriado pode gerar aplicações no tratamento de água, e o tanino, que de acordo com Silva (1999), tem sido usado em muitas estações de tratamento de água e esgoto, com nomes comerciais como Tanac e Tanfloc. Segundo Lima (2007), verifica-se também o emprego de algumas plantas, tais como: quiabo (*Abelmoschus esculentus*), mutamba (*Guazuma ulmifolia*), além do cacau (*Theobroma cacao*) e a goma xantana.

De acordo com Araújo et. al (2005), a goma xantana é um biopolímero classificado como hetero-exopolissacarídeo ramificado, aniônico, produzido por fermentação utilizando a bactéria *Xanthomonas campestris*.

A goma xantana é um polissacarídeo de enorme interesse para as indústrias de alimentos, de farmácias e de petróleo. Esta goma apresenta a capacidade de formar soluções viscosas e géis hidrossolúveis que lhe fornece propriedades reológicas únicas. Suas propriedades físico-químicas superam todas as dos outros polissacarídeos disponíveis no mercado. Dentre estas propriedades destacam-se a sua elevada viscosidade em baixas concentrações, bem como sua estabilidade em ampla faixa de temperatura e de pH, mesmo na presença de sais (LUVIELMO E SCAMPARIN, 2009; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2010).

Em vista da fundamentação exposta, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência do polímero aniônico, conhecido como goma xantana, como auxiliar de floculação no tratamento de água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o processo de coagulação/floculação utilizando o biopolímero goma xantana como auxiliar de floculação no tratamento de água.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a eficiência da goma xantana como auxiliar de floculação utilizando diferentes coagulantes químicos;
- Caracterizar a água bruta e tratada por meio de análise de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos;
- Determinar as concentrações ótimas de goma xantana e de coagulante químico para garantir a qualidade da água tratada.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CLARIFICAÇÃO E DESINFECÇÃO DA ÁGUA

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), as tecnologias de tratamento de água podem ser resumidas em dois grupos: sem coagulação química e com coagulação química. Dependendo da qualidade da água bruta, ambas podem ou não ser precedidas de pré-tratamento (Figura 1).

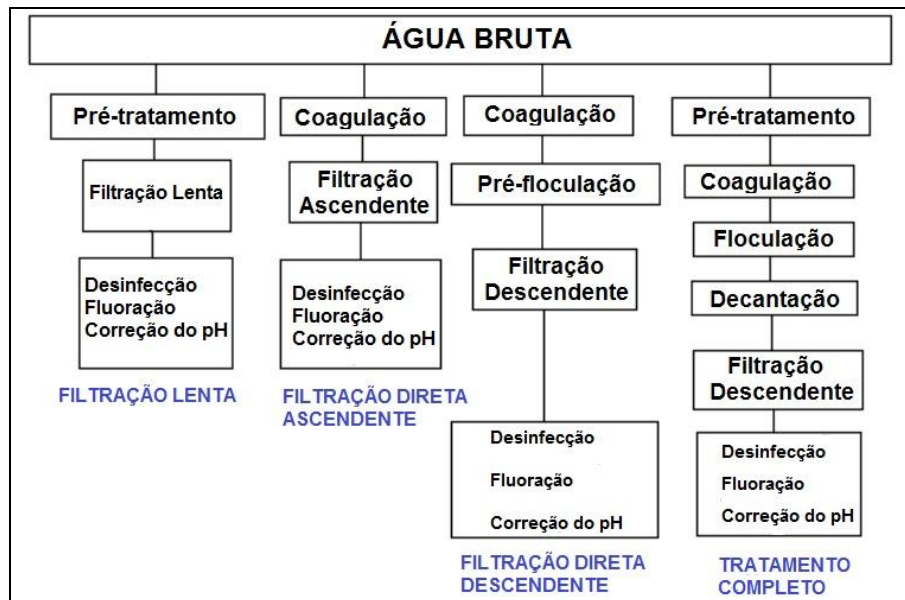


Figura 1 - Tecnologias de Tratamento de Água para Consumo Humano
 Fonte: DI BERNARDO, 1993.

Richter (2009), ressalta que as principais condicionantes na escolha dos processos de tratamento são a natureza da água bruta e a qualidade desejada para tratar a água.

De uma forma geral, segundo Richter (2009), a coagulação e a floculação reduzem as forças que separam as partículas, e depois provocam colisões entre as mesmas formando flocos, respectivamente.

Leme (1990), caracteriza a sedimentação ou decantação como a remoção do material floculado por ação da gravidade, e a filtração como sendo a

remoção de sólidos dissolvidos, coloidais e em suspensão, através da passagem da água por um meio poroso. A desinfecção é a destruição das bactérias patogênicas e de outros microrganismos capazes de infectar o homem através do consumo de água contaminada.

3.2 COAGULAÇÃO

Segundo Campos e Povinelli (1974), das partículas que se encontram na água provocando turbidez e cor, as que causam maiores dificuldades de remoção são as partículas coloidais.

As impurezas coloidais das águas apresentam cargas elétricas consideráveis que interferem na coagulação. A diferença de potencial entre uma partícula coloidal com seus agregados e o meio líquido em que ela se encontra suspensa é denominada “Potencial Zeta”, o qual, quando controlado, pode reduzir as cargas elétricas repulsivas que impedem a agregação de impureza aos flocos (AZEVEDO NETTO, 1966).

Os colóides, por possuírem cargas elétricas nas suas superfícies, estabelecem através destas cargas um campo eletroestático, o qual é o principal fator de sua estabilização. As partículas suspensas e coloidais dispersas na água apresentam carga predominantemente negativa (AZEVEDO NETTO, 1966; LIBÂNIO, 2008).

Richter (2009), afirma que o processo de coagulação usado na maioria das estações de tratamento, envolve a aplicação de produtos químicos para a precipitação de compostos em solução e desestabilização de suspensões coloidais de partículas sólidas que, de outra maneira, não poderiam ser removidas por sedimentação, flotação ou filtração.

Leme (1990), ressalta que os sulfatos de alumínio e ferro são normalmente os mais empregados como coagulantes, por serem mais baratos. Estes coagulantes produzem cátions e ânions de valência elevada, que reagem com a alcalinidade da água para formar hidróxidos insolúveis precipitáveis.

Na coagulação, a mistura rápida tem a finalidade de promover a dispersão do coagulante à água. Essa dispersão deve ser a mais homogênea, ou seja, uma distribuição equânime e uniforme do coagulante à água, e a mais rápida possível (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Libânio (2008), afirma que diversos fatores poderão intervir no processo de coagulação. Os principais fatores intervenientes são o tipo de coagulante, pH, alcalinidade da água bruta, natureza e distribuição dos tamanhos das partículas causadoras de cor e turbidez e a uniformidade de aplicação dos produtos químicos na massa líquida.

3.3 FLOCULAÇÃO

Segundo Leme (1990), a floculação é a aglomeração e compactação de partículas de coagulante e de matéria em suspensão na água, formando os flocos. A floculação é feita por meio de um processo mecânico que produz agitação na água, com a intenção de se criar gradientes de velocidade, para causar uma turbulência capaz de provocar choques entre as partículas coaguladas e as partículas em suspensão e no estado coloidal existentes na água. A agitação deve ser lenta e limitada para evitar o rompimento dos flocos adensados. Os contatos provocados permitem que os flocos aumentem em tamanho e densidade, tornando-se mais fáceis de sedimentarem, o que contribui para que se obtenha uma melhor clarificação da água.

A mistura rápida e a floculação (mistura lenta) são, portanto, processos de transporte de fluido, associados à precipitação e união de partículas primárias. Como fenômenos de transporte de fluido, a diferença entre as duas reside no tempo e intensidade de mistura, esta definida pelo gradiente de velocidade (RICHTER, 2009).

Para Libânio (2008), todos os fatores intervenientes no processo de coagulação podem ser listados como relevantes na eficiência da floculação. Além da coagulação propriamente dita, o gradiente de velocidade e o tempo de detenção ou

tempo de floculação constituem-se nos principais fatores intervenientes da floculação.

3.4 POLÍMEROS COMO AUXILIARES DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

Campos e Povinelli (1974), afirmam que certas águas, por apresentarem Potencial Zeta muito negativo, ou por não possuírem partículas que sirvam como núcleos de flocos, tornam-se bastante difíceis de tratar utilizando-se apenas os coagulantes primários comuns. Devido a este fator, empregam-se produtos que têm a finalidade de ajudar o processo.

Polímeros têm sido usados como auxiliares em tratamento de água desde o início da década de 50, principalmente na coagulação e floculação, sendo a maior vantagem do uso destes auxiliares o desenvolvimento dos flocos mais resistentes às forças de cisalhamento (LIMA, 2007).

De acordo com Libânio (2008), uma classe especial de polímeros denomina-se polieletrólitos, distintos dos polímeros ordinários por possuírem grupos funcionais ionizáveis capazes de serem adsorvidos na superfície dos colóides.

Segundo Campos e Povinelli (1974), os polieletrólitos são polímeros de longa cadeia molecular que podem apresentar, quando em contato com a água, um número de cargas muito grande, distribuídas ao longo dessa cadeia. Quando estas cargas forem positivas o polieletrólito é chamado de catiônico, quando negativas, aniônico, podendo ainda ser não aniônico. Os polieletrólitos (ou polímeros) catiônicos podem ser usados sem a aplicação do coagulante primário e podem abaixar o Potencial Zeta a valores bastante reduzidos e ainda promover a floculação, o que não acontece quando se trata dos aniônicos ou não iônicos. Estes últimos apresentam grande poder de floculação, mas não possuem as características favoráveis de cargas que os catiônicos possuem.

O polímero aniônico ou não iônico é usado após o coagulante inorgânico, podendo ser do tipo pré-hidrolizado, ou não, e associar-se com coagulante orgânico ou polímero catiônico. Os flocos formados com o uso conjunto de coagulante metálico e auxiliar de floculação aniônico têm menor quantidade de água e, conseqüentemente, maior densidade (LIMA, 2007).

Para Di Bernardo e Dantas (2005), tanto polímeros sintéticos como naturais (amidos em geral) têm sido usados como auxiliares de coagulação, floculação e filtração. No primeiro caso, têm-se os polímeros catiônicos, o que permite, em muitas situações, reduzir consideravelmente a dosagem do coagulante primário quando este é um sal de alumínio ou de ferro. Como auxiliar de floculação, os polímeros são empregados com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, reduzir a ação das forças de cisalhamento nos flocos durante a veiculação da água floculada e diminuir a dosagem de coagulante primário; e também, os polímeros, nesse caso, são usados para aumentar as forças atuantes nos flocos presentes no manto de lodo (em flotadores ou decantadores de manto de lodo).

Ainda de acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), dentre as principais vantagens da utilização de polímeros como auxiliares de floculação em uma estação de tratamento de água em ciclo completo, podem ser citadas: melhoria da qualidade da água decantada e filtrada, redução no consumo de coagulante primário; redução dos gastos totais com produtos químicos; redução no volume de lodo do decantador; aumento do período médio entre lavagens consecutivas dos filtros reduzindo a perda de água; aumento da eficiência da desinfecção, como consequência da redução da concentração de sólidos suspensos na água filtrada; diminuição da ocorrência de deposição de lodo na rede e nos reservatórios do sistema de distribuição; redução dos problemas advindos da sobrecarga (vazão e taxa) de decantadores e filtros; aumento da flexibilidade da operação da estação de tratamento de água; uso como solução de emergência, quando alguma unidade de decantação, floculação ou filtração tiver de ser retirada de operação e as outras unidades tiverem de trabalhar sobrecarregadas.

3.4.1 Polímeros Sintéticos

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), os polímeros sintéticos podem ser agrupados em: catiônicos, aniônicos, não iônicos e anfótericos. Os catiônicos apresentam sítios ionizáveis positivos, os aniônicos possuem sítios ionizáveis negativos, os não iônicos não possuem sítios ionizáveis e os anfótericos apresentam sítios ionizáveis positivos e negativos.

Uma grande variedade de polímeros sintéticos ou polieletrólitos está disponível para uso em tratamento de águas como coagulantes ou auxiliares de coagulação ou floculação, mas a presença de monômeros que não reagem causa incerteza e preocupação devido ao risco de contaminação. Por exemplo, polímeros com base na acrilamida e epicloroedrin podem ser usados em tratamento de água, conseqüentemente, é possível a presença de monômeros destes compostos, que não reagem (LIMA, 2007).

De acordo com Sharma, Dhuldhoya e Merchant (2006), os polímeros inorgânicos possuem desvantagens, como: é necessária uma grande quantidade de floculante para causar a separação sólido-líquido da dispersão e a produção de lodo é grande, causando problemas de disposição final do mesmo. Também são altamente sensíveis ao pH, são aplicáveis apenas a alguns sistemas de dispersão, podendo não funcionar em outros, e não coagulam partículas muito finas.

3.4.2 Polímeros Naturais

Segundo Richter (2009), os polímeros naturais podem ser usados como auxiliares da floculação ou como coagulantes primários. Nesse caso, o processo de coagulação reduz-se à neutralização por carga, e a adição de um polímero não afeta o pH e nem a alcalinidade.

Os polímeros naturais além de facilitarem a desidratação do lodo gerado na estação, permitem a redução da dosagem do sulfato de alumínio como agente coagulante, com a mesma eficiência de remoção de particulados e matéria orgânica natural, possibilitando menores concentrações de alumínio residual na água e no lodo, facilitando o reuso deste (ZARA; THOMAZINI; LENZ, 2012; LIMA, 2007).

Os auxiliares naturais de coagulação ou de floculação têm demonstrado vantagens, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004).

Os polímeros naturais, como os amidos de mandioca, araruta e batata, têm tido seu uso comprovado como auxiliares de floculação e/ou de filtração (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Além dos amidos, que são largamente empregados como auxiliares de floculação e/ou filtração, é possível citar outros biopolímeros que

podem ser empregados com a mesma finalidade, como o quiabo, a moringa, a goma guar e a goma xantana.

Ensaio laboratoriais utilizando o quiabo como auxiliar de floculação, feitos por Lima (2007), obtiveram resultados satisfatórios, indicando uma melhoria significativa na qualidade das águas decantadas. A eficiência do conjunto coagulante e polímero natural foi de 80% na remoção da turbidez em comparação com a remoção de 26% obtida com a aplicação apenas do coagulante (sulfato de alumínio). A utilização do quiabo como auxiliar de filtração trouxe resultados vantajosos, melhorando a qualidade das águas e esgotos filtrados. Os ensaios também indicaram vantagem em relação à dosagem do sulfato de alumínio combinado com o quiabo (auxiliar de floculação), a qual pôde ser reduzida trazendo igual eficiência.

A respeito da *Moringa oleífera* Lam, estudos feitos por Cardoso (2008), relataram que este polímero natural apresentou-se eficiente na redução dos parâmetros de qualidade físico-químicos analisados após o processo de clarificação e filtração, atuando como um bom coagulante primário. Além disso, este biopolímero combinado com sulfato de alumínio contribuiu para a diminuição do agente químico, comprovando que uma pequena quantidade de *Moringa Oleífera* Lam pode diminuir o consumo do coagulante.

Pesquisas feitas por Spinelli (2001), utilizando a quitosana no tratamento de água mostraram que a mesma se mostrou eficiente como coagulante no tratamento de água potável de baixa turbidez e de água de lago, utilizando processos de coagulação/floculação/decantação/filtração e coagulação/floculação, respectivamente. A dose de quitosana empregada foi bem menor do que a de sulfato de alumínio, e este polímero é natural, não tóxico e biodegradável, representando um avanço ao equilíbrio sustentável.

Sobre a goma guar, os ensaios realizados por Gupta e Ako (2005), indicaram que esta goma pode ser um eficaz auxiliar de floculação (com sulfato de alumínio como coagulante primário) em substituição a poliácridamida, no tratamento de água. O experimento mostrou que houve um aumento da proporção de sedimentação das partículas coloidais desestabilizadas acima do tempo de sedimentação indicado, e isto é um indicativo de que esta goma possui capacidade

de promover a agregação e crescimento das partículas coloidais durante os processos de coagulação e floculação.

Pesquisas realizadas por Tomazzoni (2009), utilizando a goma xantana como auxiliar de floculação, apontaram que a mesma é uma boa alternativa para melhorar a qualidade da água decantada, principalmente em estações de tratamento cuja vazão tratada é maior que a de projeto. Verificou-se que a turbidez remanescente foi menor, em geral, quanto maior a dosagem de goma xantana, principalmente para velocidades de sedimentação mais elevadas, havendo redução significativa da turbidez remanescente em comparação com os ensaios realizados sem goma xantana.

3.5 GOMA XANTANA

3.5.1 Biopolímeros e gomas industriais

Segundo Luvielmo e Scamparini (2009), na década de 1950 uma nova geração de produtos surgiu no mercado internacional: os polissacarídeos de origem microbiana. Até então os polissacarídeos utilizados nas indústrias eram originados de plantas marinhas e terrestres.

De acordo com Del Pino et al. (2004), os polissacarídeos obtidos pela ação de microrganismos, por processos fermentativos, são conhecidos como biopolímeros.

Para Pradella (2006), os biopolímeros são materiais poliméricos classificados estruturalmente como polissacarídeos, poliésteres ou poliamidas. A matéria-prima principal para a manufatura destes é uma fonte de carbono renovável, sendo geralmente um carboidrato derivado de plantios comerciais em larga escala como, por exemplo, cana-de-açúcar, milho, batata, trigo, beterraba ou um óleo vegetal extraído de soja, girassol, palma ou outra planta oleaginosa.

Luvielmo e Scamparini (2009), afirmam que a grande diversidade de estruturas químicas capaz de ser elaborada pelos microrganismos possibilita a obtenção de polímeros hidrossolúveis com diferentes propriedades. A esse grupo de

polissacarídeos solúveis em água, de origem vegetal, animal ou microbiológica, foi dado a designação de gomas industriais.

Pradella (2006) ressalta que a produção de biopolímeros microbianos fornece uma alternativa válida para a substituição das gomas comumente utilizadas (amido e outros), por meio do desenvolvimento de produtos com propriedades praticamente idênticas ou com melhores características reológicas, que podem ser usados para novas aplicações. E, além disso, a produção industrial dos biopolímeros microbianos não é vulnerável a problemas na colheita, condições climáticas ou poluição marinha.

De acordo com Araújo et al. (2005), dentre as gomas produzidas por microrganismos, a xantana ocupa lugar de destaque no mercado por apresentar propriedades reológicas bastante distintas e incomuns, tais como alto grau de pseudoplasticidade e elevada viscosidade, mesmo em baixas concentrações.

3.5.2 Goma xantana e mercado

Segundo Pradella (2006), a xantana recebeu permissão de uso em alimentos pelo “Food and Drug Administration” – FDA em 1969. No Brasil, o uso dessa goma é permitido desde 1965, pelo Decreto Lei nº 55.871 de 26 de março de 1965, da Legislação Brasileira de Alimentos.

As bactérias pertencentes ao gênero *Xanthomonas* produzem a goma xantana e esta é aplicada em diversos segmentos. O mercado mais importante de consumo são as indústrias de alimentos, petróleo, mineração, têxtil, termoquímica, tintas, papel, cosméticos, farmacêutica e de produtos agropecuários nas quais, além de ser utilizada como formadora de gel, espessante e agente de suspensão, é utilizada também por suas propriedades floculante, adesiva, formadora de filme, lubrificante e redutora de fricção (LUVIELMO E SCAMPARINI, 2009; CORDEIRO, 2010).

A xantana é um polímero do tipo poli- β -(1 \rightarrow 4)-D-glicopirranose, assemelhando-se à celulose, mas com ramificações alternadas nas posições C-3, constituídas por três açúcares. O peso molecular da xantana varia de 2 a 12×10^6 Da,

dependendo da preparação da amostra e do método utilizado na análise (PRADELLA, 2006). A Figura 2 mostra a estrutura básica da goma xantana.

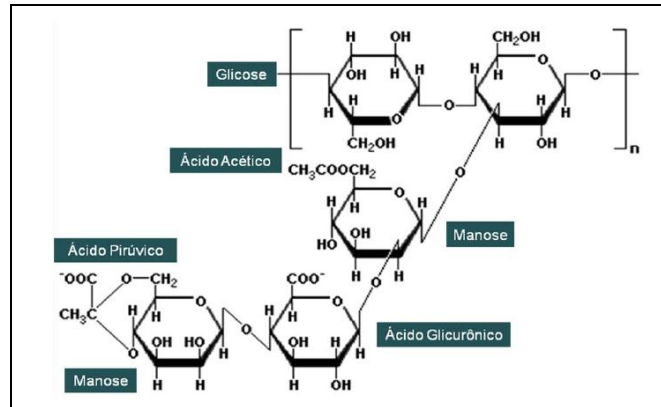


Figura 2 - Estrutura básica da goma xantana.
Fonte: Adaptado de Faria (2005).

Segundo Luvielmo e Scamparini (2009), atualmente toda a goma xantana consumida no Brasil, provém de importações, porém o Brasil tem um grande potencial para a fabricação deste polímero em escala industrial, já que o país tem matéria-prima básica para a produção da goma: açúcar, extrato de levedura e álcool do setor sucro-alcooleiro. A produção desses biopolímeros, em condições controladas de fermentação, garante um material de qualidade e fornecimento constante não influenciada por variações climáticas.

3.5.3 Propriedades da goma xantana

Segundo Araújo et al. (2005), o sucesso da goma é função desta exibir diversas vantagens como espessante, estabilizante, gelificante, agente de suspensão e floculação.

A goma xantana é facilmente solúvel em água quente ou fria, produzindo alta viscosidade, não é solúvel na maioria dos solventes, é estável em temperaturas de 0°C a 100°C e é estável também em ciclos de gelo-degelo, sem a ocorrência de sinérese (perda de água). A viscosidade da goma xantana não é afetada pela

temperatura e é pouco afetada na presença de sais. É altamente estável em ampla faixa de pH, sendo afetada apenas com valores de pH maiores que 11 e menores que 2,5. Essa estabilidade depende da concentração: quanto maior a concentração, maior a estabilidade da solução (ADITIVOS E INGREDIENTES, 2011; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2010).

Possui compatibilidade e estabilidade com a maioria dos sais metálicos e a presença de cadeias laterais e o caráter iônico nas moléculas de xantana aumentam sua hidratação (CANUTO, 2006; PRADELLA, 2006).

Apresenta excelente estabilidade a variações de pH, a cisalhamento prolongado, temperaturas elevadas e microondas. As soluções de goma xantana são pseudoplásticas. Esta característica é importante para a liberação do sabor, sensação bucal e estética do produto. A xantana também é compatível com a maioria dos espessantes comercialmente disponíveis (ADITIVOS E INGREDIENTES, 2011).

Além disso, apresenta sinergismo com a goma guar. A viscosidade da mistura é superior à soma das duas. À concentração de 0,2% forma géis termicamente reversíveis. A goma xantana em associação com outras gomas proporciona textura lisa e cremosa a alimentos líquidos, com qualidade superior à das demais gomas (ADITIVOS E INGREDIENTES, 2011).

As aplicações da goma xantana incluem molhos para salada, geleias previne sinérese (perda de água), substitui ovos (clara), produtos cárneos, enlatados, confeitos e sopas. As propriedades pseudoplásticas facilitam a produção de queijos e patês (ADITIVOS E INGREDIENTES 2011).

Segundo Canuto (2006), na indústria de bebidas, a xantana tem propriedade de aprimorar as características de palatabilidade de sucos cítricos e bebidas com aroma e sabor de frutas. Em níveis mais altos, é excelente agente de suspensão para sucos de polpa de frutas com alto teor de sólidos suspensos. Nestes usos a concentração típica é de 0,001 a 0,15%.

3.5.4 Goma xantana como auxiliar de floculação

Como já mencionado anteriormente, os polímeros aniônicos podem ser utilizados como auxiliares de floculação, combinados a um coagulante primário. Portanto, a goma xantana, por ser aniônica, pode ser utilizada como auxiliar de floculação no tratamento de água.

Os estudos a respeito da xantana no tratamento de água ainda são recentes, e de acordo com Sharma, Dhuldhoya e Merchant (2006), ensaios para avaliar a eficiência da goma xantana como auxiliar de floculação já indicaram que esta goma aumentou a floculação das suspensões de óxido de zinco e argilas. Também ficaram estabelecidos que o copolímero formado pela reação da poliacrilamida com a goma xantana é eficaz para o tratamento de efluentes industriais contendo contaminantes metálicos e não-metálicos.

A goma xantana se torna vantajosa no tratamento de água, por ser um polissacarídeo de origem microbiana, assim não é dependente de variações climáticas e nem da sazonalidade, e segundo Bozza (2002), é possível modificar suas características reológicas através do controle de parâmetros de fermentação, e também é possível fazer o controle da qualidade da produção dos lotes dessa goma.

A xantana é interessante também no tratamento de água por ser biodegradável, visto que é um polímero natural, e também por ser atóxica, sendo aprovada pela Legislação Brasileira de Alimentos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho foi dividida em 3 etapas: a primeira etapa constituiu-se da coleta e caracterização físico-química e bacteriológica da água bruta. A segunda etapa constituiu-se de um ensaio de coagulação e floculação utilizando diferentes concentrações de coagulante químico, para determinar a concentração ótima deste coagulante no tratamento da água. Após a seleção do melhor resultado da dosagem ótima de coagulante, foi realizado outro ensaio combinando essa dosagem com diferentes concentrações de solução padrão de goma xantana. E na terceira etapa foi realizada a caracterização físico-química e bacteriológica da água para o ensaio que apresentou o melhor resultado e verificação da eficiência do tratamento.

4.1 LOCALIZAÇÃO

A água bruta utilizada neste estudo foi coletada no ponto de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), no município de Campo Mourão (Figura 3).

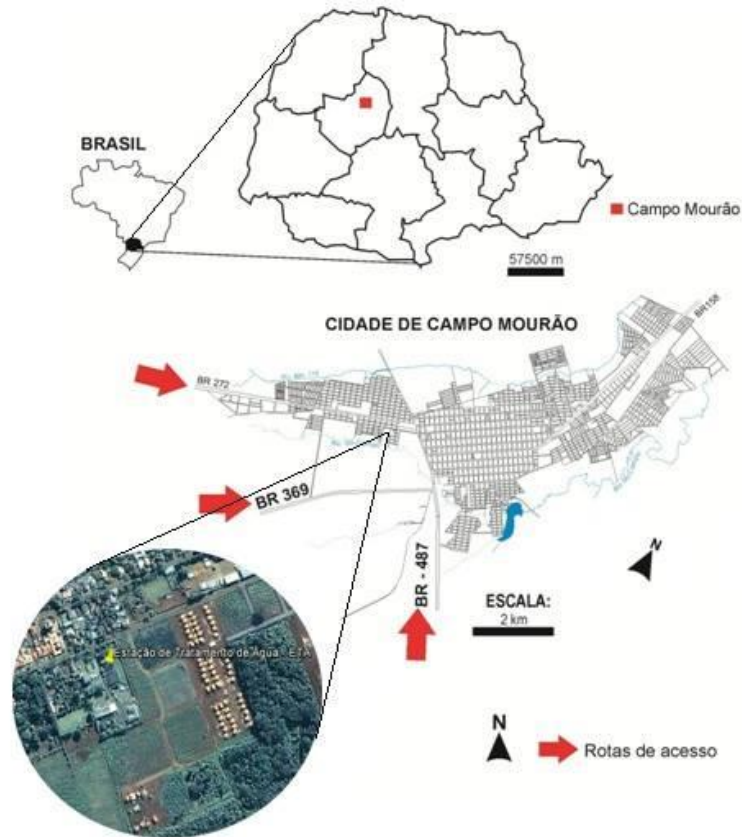


Figura 3 - Localização da Estação de Tratamento de Água da SANEPAR, no município de Campo Mourão.
Fonte: Google Earth, 2013.

4.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

A coleta foi realizada no dia 8 de julho de 2013. Neste dia e nos dias antecedentes a coleta não ocorreu incidência chuvas e a temperatura manteve-se na média de 25°C.

A água coletada na SANPEAR era isenta de qualquer tratamento prévio, e foi armazenada em recipientes plásticos e mantida sob refrigeração até o momento das análises em laboratório.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Campo Mourão.

A caracterização da água bruta foi realizada por meio de análises de parâmetros físico-químicos (cor, turbidez, sólidos, pH, alcalinidade, acidez e nutrientes – nitrogênio e fósforo) e bacteriológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*).

4.3 ENSAIOS COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Nestes ensaios foram empregados o mesmo coagulante químico, policloreto de alumínio (PAC), e o mesmo alcalinizante, geocal[®], utilizados na ETA da SANEPAR de Campo Mourão. Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram realizados utilizando-se o Teste de Jarros, também conhecido como *Jar Test*, que de acordo com Rossin (1974), é um teste empregado para determinar as dosagens ótimas dos coagulantes a serem utilizados.

Segundo Campos e Povinelli (1974), para a determinação da dosagem ótima é indispensável o Ensaio de Jarros. Esse ensaio compõe-se de duas etapas: na primeira procura-se o pH ótimo de coagulação/floculação, na segunda repete-se o ensaio pesquisando-se a menor dosagem do coagulante que fornece resultados satisfatórios.

No presente estudo, foi dispensado encontrar o pH ótimo de coagulação e floculação, pois foram utilizadas as mesmas concentrações de alcalinizante fornecidas pela SANEPAR. Apenas os ensaios para encontrar a concentração ótima de coagulante foram realizados.

Avaliaram-se, em seguida, as concentrações da solução de goma xantana associadas com concentrações mais baixas do coagulante químico, de modo a possibilitar a diminuição do coagulante.

De acordo com Campos e Povinelli (1974), o efeito das diferentes doses de coagulante pode ser observado nos jarros. A dosagem ótima é aquela que produz os melhores flocos, os quais são caracterizados pela claridade da água no espaço entre eles, e que fornece o sobrenadante de melhor qualidade.

Todos os ensaios foram realizados em tréplica.

4.3.1 Preparo das soluções de alcalinizante, coagulante e auxiliar de floculação

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), a dispersão do coagulante é facilitada quando se dilui a solução aplicada a um valor suficientemente baixo. Valores de 1% têm conduzido bons resultados.

As soluções do coagulante policloreto de alumínio (PAC) foram preparadas com concentração de 1%, diluindo-se 1 mL da solução de PAC fornecida pela SANEPAR em 100 mL de água destilada, em um balão volumétrico (Figura 4). O mesmo procedimento foi seguido para as soluções de geocal[®], obtendo-se também uma solução padrão de 1% (Figura 5).



Figura 4 - Solução padrão de coagulante.

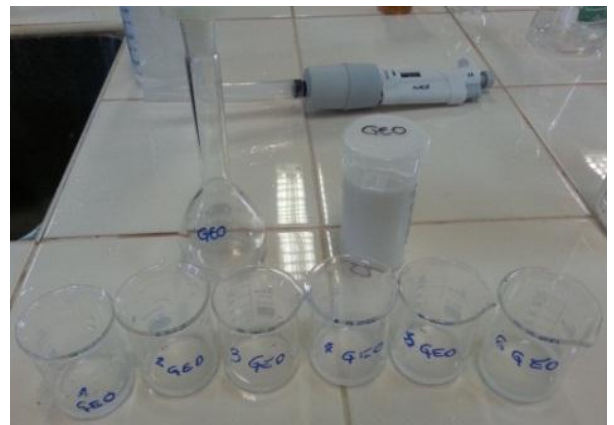


Figura 5 - Solução padrão de alcalinizante.

Para facilitar o procedimento do *Jar Test*, as soluções de alcalinizante e coagulante foram transferidas para 6 béqueres, utilizando-se uma pipeta automática. Cada béquer foi nomeado de acordo com a concentração e o número do jarro do *Jar Test* em que seriam adicionadas.

Os béqueres do alcalinizante foram enumerados de 1 a 6 e continham a mesma concentração de geocal[®] utilizada pela SANEPAR no dia da coleta (5 ppm).

Para a solução de coagulante, utilizou-se a metodologia de Lima (2007), que propõe fixar a mesma dosagem da ETA no Jarro 3 ou 4 (neste caso, optou-se pelo

Jarro 4), e aplicar dosagens inferiores nos jarros anteriores, e superiores nos frascos posteriores, variando a concentração de 2 em 2 mg/L.

Portanto, no Jarro 4 foi adicionada a mesma concentração utilizada pela SANEPAR (11 ppm) no dia da coleta. A variação da concentração foi de 2 em 2 ppm decrescente nos Jarros 3 (9 ppm) , 2 (7 ppm), 1 (5 ppm) e crescente nos Jarros 5 (13 ppm) e 6 (15 ppm).

As soluções padrão de goma xantana foram preparadas de duas formas distintas, variando a temperatura da água de preparo, de acordo com a metodologia de Tomazzoni (2009).

Para a primeira solução padrão, chamada de Fria, pesou-se 0,1 gramas de goma xantana (Figura 6) em balança analítica de precisão e depois esta quantidade foi dissolvida em 1 litro de água destilada à temperatura ambiente, em um balão volumétrico, obtendo-se uma concentração de 0,01%.

Para que esta solução ficasse homogênea, primeiro foram adicionados 0,1g de goma em 200 mL de água destilada em um béquer, agitando constantemente o líquido com bastão de vidro até se obter uma melhor dissolução. Depois, esta solução foi diluída aos poucos em mais 800 mL de água destilada em um balão volumétrico, primeiro agitando-se com bastão de vidro e depois agitando horizontalmente o balão volumétrico para uma melhor homogeneização (Figura 7).

A segunda solução, chamada de Quente, foi preparada da mesma maneira, exceto pela dissolução inicial, onde 0,1g de goma xantana foram dissolvidas em 200 mL de água destilada aquecida até 65°C (Figura 8).



Figura 6 - Goma xantana em pó.



Figura 7 - Solução padrão de goma xantana diluída a frio.

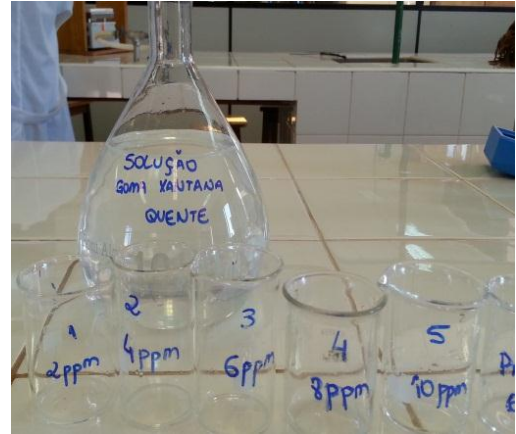


Figura 8 - Solução padrão de goma xantana diluída a quente.

O intervalo da concentração das soluções Fria e Quente de goma xantana utilizadas no estudo foi de 0,2 a 1,2 ppm, em variações de concentrações de 0,2 a 0,2 ppm. Para a melhor eficiência do ensaio, foram deixados preparados 6 béqueres com as soluções Fria e Quente, nomeados de acordo com a concentração de goma e com o número do jarro do *Jar Test* em que devem ser adicionadas.

As soluções padrões foram utilizadas logo após o preparo, pois, segundo Gupta e Ako (2005), os polímeros de origem natural possuem uma ocorrência comum de crescimento de fungos depois de 12 horas.

4.3.2 Ensaio para a determinação da concentração ótima de coagulante

O equipamento utilizado em todo o estudo foi o *Jar Test* modelo 218/LDB 06 de seis provas de marca Nova Ética, com regulador de rotação das hastas misturadoras, com béqueres de 1000 mL.

O tempo de mistura rápida (TMR) foi fixado em 1 minuto, em 120 rotações por minuto (rpm) e o tempo de mistura lenta (TML) fixado em 15 minutos, em 60 rpm.

Na determinação da concentração ótima de coagulante, foram adicionados 1000 mL de água bruta em cada um dos 6 jarros previamente enumerados. Os béqueres menores contendo as soluções padrão de geocal[®] e de PAC foram pré-

dispostos em frente ao *Jar Test*, de maneira a facilitar a adição das soluções à água bruta (Figura 9).



Figura 9 - Ensaio para a determinação da concentração ótima de coagulante.

A Tabela 1 apresenta as concentrações de alcalinizante e coagulante adicionadas em cada jarro no ensaio de determinação da concentração ótima de coagulante.

Tabela 1 - Dosagem de alcalinizante e coagulante utilizada no ensaio de determinação da concentração ótima de coagulante.

ENSAIO CONCENTRAÇÃO ÓTIMA DE COAGULANTE		
JARRO	Geocal [®]	PAC
1	5 ppm	5 ppm
2	5 ppm	7 ppm
3	5 ppm	9 ppm
4	5 ppm	11 ppm
5	5 ppm	13 ppm
6	5 ppm	15 ppm

O alcalinizante foi adicionado à água bruta assim que foram atingidas as 120 rotações por minuto, sendo vertido em todos os jarros ao mesmo tempo, próximo da haste giratória para garantir uma homogeneização eficiente. O coagulante foi adicionado 1 minuto após esse procedimento, seguindo a mesma metodologia de adição do alcalinizante.

A velocidade de agitação foi reduzida para 60 rpm ao completar 1 minuto desde a adição do coagulante, foi mantida essa mesma velocidade durante 15 minutos.

Após os processos de coagulação e floculação, o *Jar Test* foi desligado, e as amostras mantidas em repouso por um período de 60 min, para que ocorresse sedimentação do material floculado.

Em seguida, amostras de 15 mL da água tratada foram coletadas utilizando-se uma pipeta automática colocada sempre a uma distância pequena da superfície da água e sempre próxima da haste giratória do *Jar Test*, para evitar que o material floculado sedimentado interferisse nos resultados.

O período total de coleta foi de 60 min, em intervalos de tempo de 15 min, começando a partir do tempo 0 (momento em que o *Jar Test* foi desligado).

As amostras foram transferidas para béqueres enumerados de acordo com o jarro do qual foram coletadas, para posterior análise dos parâmetros de qualidade (cor e turbidez), para verificar a eficiência do processo por meio da comparação dos resultados com a água bruta.

4.3.3 Ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação

Considerando os resultados obtidos no ensaio para definir a melhor concentração de PAC, optou-se pela concentração de 5 ppm do coagulante, pois esta forneceu os melhores resultados de cor e turbidez. A concentração do alcalinizante permaneceu em 5 ppm, e ambas as concentrações mantiveram-se as mesmas até o final do estudo.

Em seguida, foram adicionados 1000 mL de água bruta em cada um dos 6 jarros previamente enumerados. Os béqueres contendo as soluções padrão de geocal[®], de PAC e de goma xantana foram pré-dispostos em frente ao *Jar Test*, de maneira a facilitar a adição destes reagentes à água bruta (Figura 10).



Figura 10 - Ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação.

A Tabela 2 apresenta as concentrações de alcalinizante, coagulante e de goma xantana adicionadas em cada jarro no ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação, utilizando a solução padrão Fria.

Tabela 2 - Concentrações de alcalinizante, coagulante e solução de goma xantana no ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação (solução Fria).

ENSAIO GOMA XANTANA - SOLUÇÃO FRIA			
JARRO	Geocal®	PAC	Goma xantana
1	5 ppm	5 ppm	0,2 ppm
2	5 ppm	5 ppm	0,4 ppm
3	5 ppm	5 ppm	0,6 ppm
4	5 ppm	5 ppm	0,8 ppm
5	5 ppm	5 ppm	1,0 ppm
6	5 ppm	5 ppm	1,2 ppm

A Tabela 3 apresenta as concentrações de alcalinizante, coagulante e solução padrão de goma xantana adicionadas em cada jarro no ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação, utilizando a solução padrão Quente.

Tabela 3 - Concentrações de alcalinizante, coagulante e solução de goma xantana no ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação (solução Quente).

ENSAIO GOMA XANTANA - SOLUÇÃO QUENTE			
JARRO	Geocal®	PAC	Goma xantana
1	5 ppm	5 ppm	0,2 ppm
2	5 ppm	5 ppm	0,4 ppm
3	5 ppm	5 ppm	0,6 ppm
4	5 ppm	5 ppm	0,8 ppm
5	5 ppm	5 ppm	1,0 ppm
6	5 ppm	5 ppm	1,2 ppm

Os ensaios em *Jar Test* seguiram o mesmo procedimento descrito anteriormente no Item 4.3.2, porém a solução padrão de goma foi acrescentada à água 4 minutos após o início da mistura lenta, seguindo a metodologia de Lima (2007). De acordo com o autor, este procedimento é feito quando se trata de auxiliares aniônicos, como é o caso da goma xantana.

Após os processos de coagulação e floculação ocorridos nestes 15 minutos, o *Jar Test* foi desligado, e as amostras mantidas em repouso por 60 min, para que ocorresse sedimentação do material floculado. Em seguida, amostras de 15 mL da água tratada foram coletadas de cada jarro, para posterior análise de cor e turbidez, para verificar a eficiência do processo por meio da comparação dos resultados com a água bruta. O período total de coleta foi de 60 min, em intervalos de tempo de 15 min, começando a partir do tempo 0 (momento em que o *Jar Test* foi desligado).

Esse procedimento foi realizado igualmente para a solução Fria e Quente, apenas mudando a solução padrão de goma xantana.

4.4 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA E TRATADA

Os parâmetros físico-químicos realizados para caracterizar a água bruta foram: cor, turbidez, sólidos, pH, alcalinidade, acidez e nutrientes (nitrogênio e fósforo). Para o parâmetro bacteriológico, foi feita a avaliação da presença de coliformes totais e *Escherichia coli*.

As análises de cor e turbidez foram feitas para avaliar a eficiência do tratamento de água. Para os ensaios de tratamento que apresentaram os melhores resultados, foram feitas as mesmas análises físico-químicas e bacteriológicas utilizadas na caracterização da água bruta.

4.4.1 Cor

A cor aparente foi determinada em medidor de cor Hanna Instruments HI 93727, de acordo com procedimento recomendado pelo Standard Methods (APHA, 2005).

4.4.2 Turbidez

A turbidez foi medida em um turbidímetro Policontrol AP2000 IR, de acordo com procedimento recomendado pelo Standard Methods (APHA, 2005).

4.4.3 Sólidos

Os sólidos totais, fixos e voláteis, foram obtidos com o método gravimétrico, de acordo com o Standard Methods (APHA, 2005).

4.4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para a determinação do pH, foi utilizado um pH-metro Digimed DM-2, conforme a metodologia descrita pelo fabricante no manual do aparelho.

4.4.5 Nutrientes- Nitrogênio e Fósforo

Os parâmetros nitrogênio e fósforo foram medidos em um espectrofotômetro Digital Hach com UV Visível DR 500, de acordo com a metodologia indicada pelo Standard Methods (APHA, 2005). O nitrogênio foi medido nas formas de nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal, e o fósforo na forma de fosfato.

4.4.6 Acidez e alcalinidade

Para a determinação de acidez e alcalinidade, foi utilizado o método titulométrico, conforme a metodologia indicada no Standard Methods (APHA, 2005).

4.4.7 Bacteriológico

Para o parâmetro bacteriológico foi avaliada a presença de coliformes totais e *Escherichia coli* quantificados por meio de contagem em placas Petrifilm[®], da 3M.

As placas Petrifilm[®] e as ponteiros da pipeta automática foram esterilizadas em cabine de fluxo laminar por 10 minutos, e a manipulação das placas ocorreu no interior da mesma (Figura 11).



Figura 11 - Cabine de fluxo laminar.

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

Após as análises dos parâmetros descritos no Item 4.4, os resultados para a água bruta foram registrados e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 4 - Caracterização da água bruta.

ÁGUA BRUTA		
PARÂMETRO		RESULTADO
Cor (uC)		390,0
Turbidez (NTU)		69,0
	Totais	123,2
	Fixos	123,1
Sólidos (mg/L)	Voláteis	0,1
	Suspensão	87,7
	Dissolvidos	35,3
pH		6,68
	Amoniacal	0,0
Nitrogênio (mg/L)	Nitrito	0,0
	Nitrato	1,3
Fósforo (mg/L)	Fosfato	29,7
Acidez (mgCaCO ₃ /L)		3,0
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)		1,3
Microbiológico (UFC)	Coliformes totais	83,0
	<i>E. coli</i>	3,0

¹Unidades Formadoras de Colônias.

De acordo com a Tabela 1, os principais parâmetros da água bruta que não estão de acordo com a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde são a cor, a turbidez e a presença de coliformes, os quais tornam esta água imprópria para o consumo humano.

A Portaria 2.914/11 define como valor máximo permitido 15 uC para cor, 5 NTU para turbidez e ausência de *E. coli* em 100 mL de água.

Para o nitrogênio é estabelecido como valor máximo permitido 1,5 mg/L para o nitrogênio amoniacal, 1 mg/L para nitrato e 10 mg/L para nitrito. Portanto, para todas as formas de nitrogênio, a água bruta se encontra dentro dos padrões exigidos.

A Portaria 2.914 não especifica valores máximos permitidos para sólidos totais, fixos e em suspensão, porém para os sólidos dissolvidos totais a exigência é de até 1000 mg/L e a água bruta deste estudo se enquadra neste critério.

5.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

5.2.1 Ensaio para a determinação da concentração ótima de coagulante

Neste ensaio, verificou-se visualmente e por meio das análises de cor e turbidez que, dentre as 6 concentrações escolhidas, o Jarro 1 com 5 ppm de PAC apresentou os melhores resultados (Figura 12 e 13).

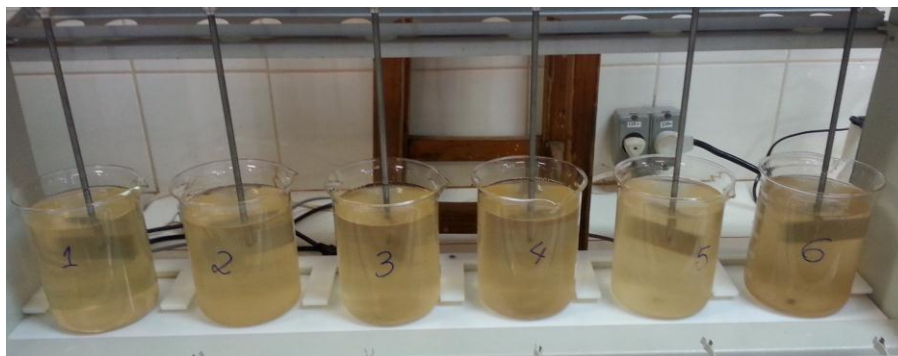


Figura 12 - Água bruta.



Figura 13 - Água tratada.

As Figuras 14 e 15 apresentam os resultados de cor e turbidez para as concentrações de PAC em cada jarro obtidos no ensaio para a determinação da concentração ótima do coagulante químico.

O tempo de sedimentação 0 foi considerado como o início da sedimentação, por isso os valores de cor e turbidez são diferentes para cada concentração de PAC.

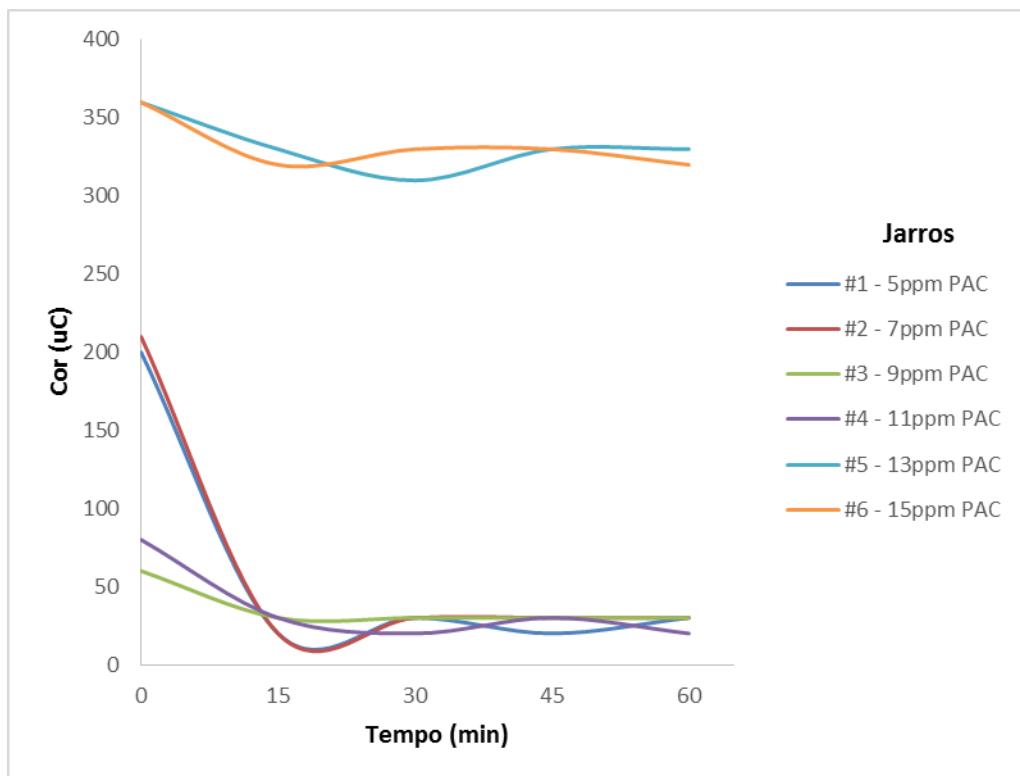


Figura 14 - Resultados de cor no ensaio de determinação da concentração ótima de coagulante PAC para: Jarro 1 (5 ppm), Jarro 2 (7 ppm), Jarro 3 (9 ppm), Jarro 4 (11 ppm), Jarro 5 (13 ppm) e Jarro 6 (15 ppm).

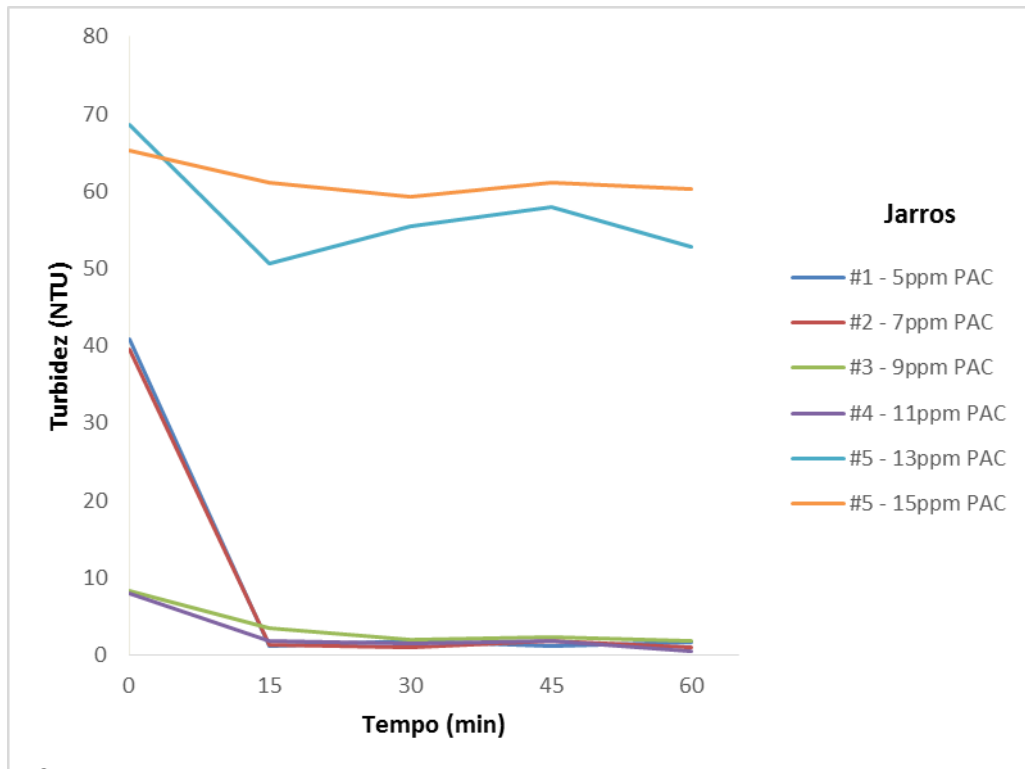


Figura 15 - Resultados de turbidez no ensaio de determinação da concentração ótima de coagulante PAC para: Jarro 1 (5 ppm), Jarro 2 (7 ppm), Jarro 3 (9 ppm), Jarro 4 (11 ppm), Jarro 5 (13 ppm) e Jarro 6 (15 ppm).

A partir da comparação dos resultados das análises de cor e turbidez entre todos os jarros, foi possível concluir que a clarificação da água foi mais eficiente no Jarro 1, com a concentração de 5 ppm de PAC, no tempo de sedimentação de 60 minutos.

Observou-se que os flocos formados no Jarro 1 possuíam melhor aspecto e que a quantidade de sobrenadante era mínima, definindo portanto, a concentração de 5 ppm de PAC como a concentração ótima de coagulante, sendo esta mantida a mesma nas outras etapas do estudo.

5.2.2 Ensaio com a goma xantana como auxiliar de floculação – solução padrão Fria

No preparo da solução padrão Fria de goma xantana, foi verificada certa dificuldade na dissolução da goma em água e notou-se que a solução não se tornou homogênea, permanecendo alguns pequenos “coágulos”.

Ao adicionar essa solução à água no experimento do *Jar Test*, a formação de flocos foi quase que imediata, como mostram as Figuras 16 e 17.

Uma hora após o *Jar Test* ter sido desligado, foi possível notar que a presença de sobrenadante era mínima, e que os flocos sedimentados possuíam um tamanho relativamente maior do que os flocos formados no ensaio para a determinação da concentração ótima de coagulante (Figura 17 e 18).



Figura 16 - Formação de flocos com solução de goma xantana diluída a frio.



Figura 17 - Formação de flocos com solução de goma xantana diluída a frio.



Figura 18 - Flocos formados após desligar o Jar Test.



Figura 19 - Flocos formados uma hora após desligar o Jar Test.

A Figura 20 mostra o resultado da cor e a Figura 21 da turbidez para as concentrações utilizadas em cada jarro, no ensaio com goma xantana como auxiliar de floculação, utilizando a solução padrão Fria.

O tempo de sedimentação 0 foi considerado como o início da sedimentação, por isso os valores de cor e turbidez são diferentes para cada concentração de PAC e de solução de goma xantana.

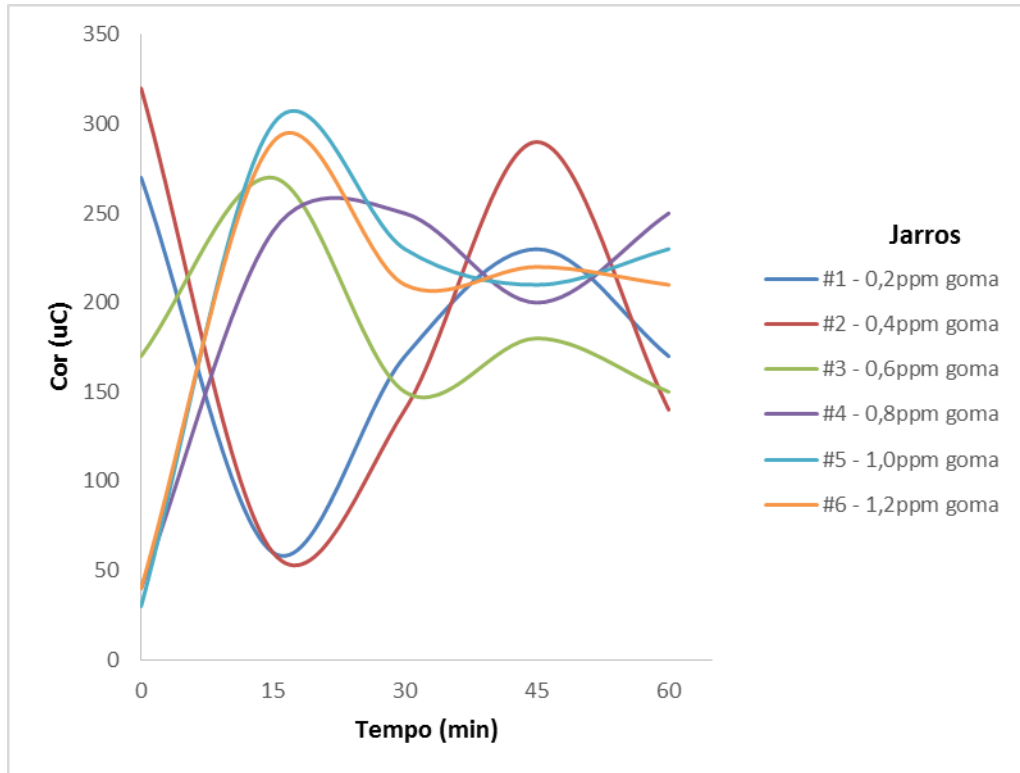


Figura 20 - Resultados de cor no ensaio com solução padrão de goma xantana diluída a frio para: Jarro 1 (0,2 ppm), Jarro 2 (0,4 ppm), Jarro 3 (0,6 ppm), Jarro 4 (0,8 ppm), Jarro 5 (1,0 ppm) e Jarro 6 (1,2 ppm).

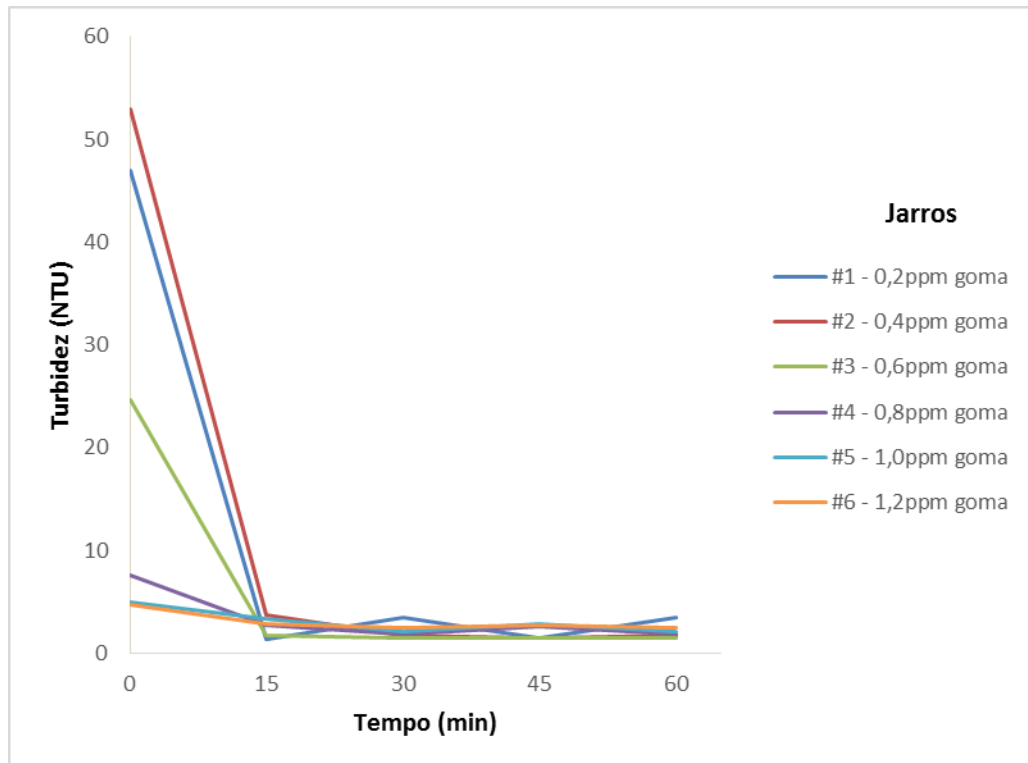


Figura 21 - Resultados de turbidez no ensaio com solução padrão de goma xantana diluída a frio para: Jarro 1 (0,2 ppm), Jarro 2 (0,4 ppm), Jarro 3 (0,6 ppm), Jarro 4 (0,8 ppm), Jarro 5 (1,0 ppm) e Jarro 6 (1,2 ppm).

De acordo com as Figuras 20 e 21, nota-se que o melhor resultado do ensaio com a solução Fria foi utilizando a concentração de 0,4 ppm de goma no tempo de sedimentação de 15 minutos. Neste mesmo tempo os valores de turbidez reduziram significativamente e permaneceram baixos durante todo o período de sedimentação.

Os valores da cor começaram a aumentar depois de 15 min, e isso pode ser ocasionado devido às características viscosas da goma. Neste estudo não foram realizados testes de viscosidade.

5.2.3 Ensaio com a goma xantana como auxiliar de floculação – solução padrão Quente

No preparo da solução padrão da goma xantana em água a 65°C, notou-se que a dissolução da goma foi mais rápida e mais homogênea devido à temperatura mais elevada.

Neste ensaio, a formação de flocos que ocorreu ao se adicionar a solução padrão de goma xantana à água também foi quase imediata. Os flocos formados se tornaram relativamente maiores e a presença de sobrenadante na água era irrelevante.

As Figuras 22 e 23 apresentam os resultados de cor e turbidez obtidos no ensaio com a goma xantana diluída a quente.

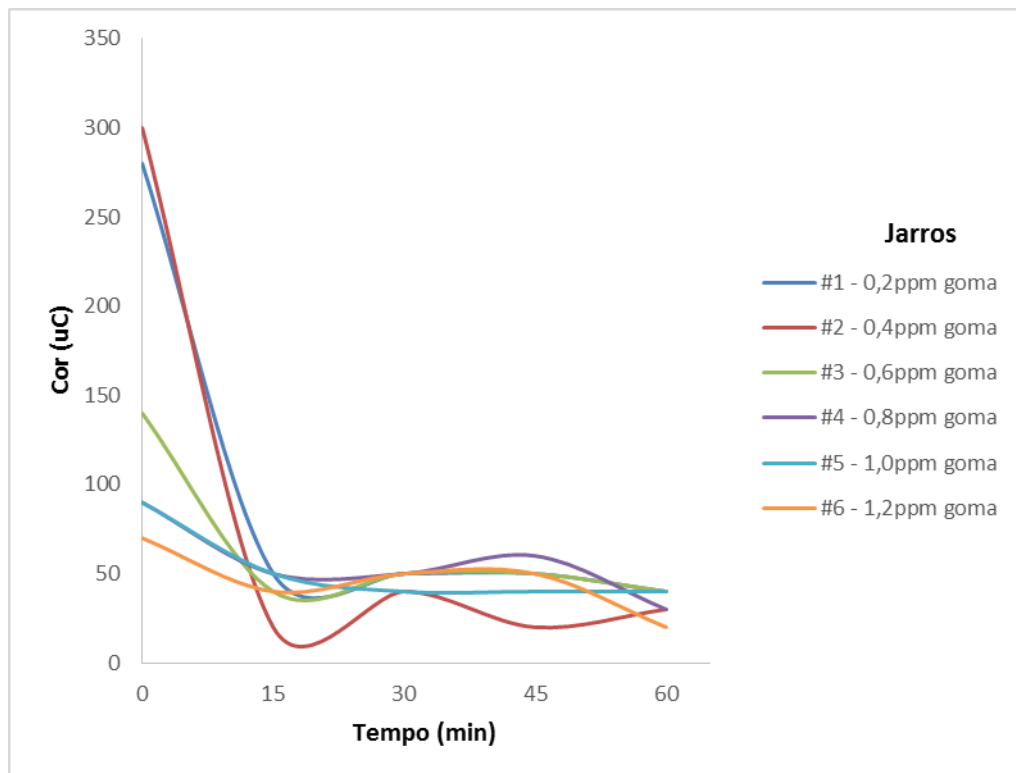


Figura 22 - Resultados de cor no ensaio com solução padrão de goma xantana diluída a quente para: Jarro 1 (0,2 ppm), Jarro 2 (0,4 ppm), Jarro 3 (0,6 ppm), Jarro 4 (0,8 ppm), Jarro 5 (1,0 ppm) e Jarro 6 (1,2 ppm).

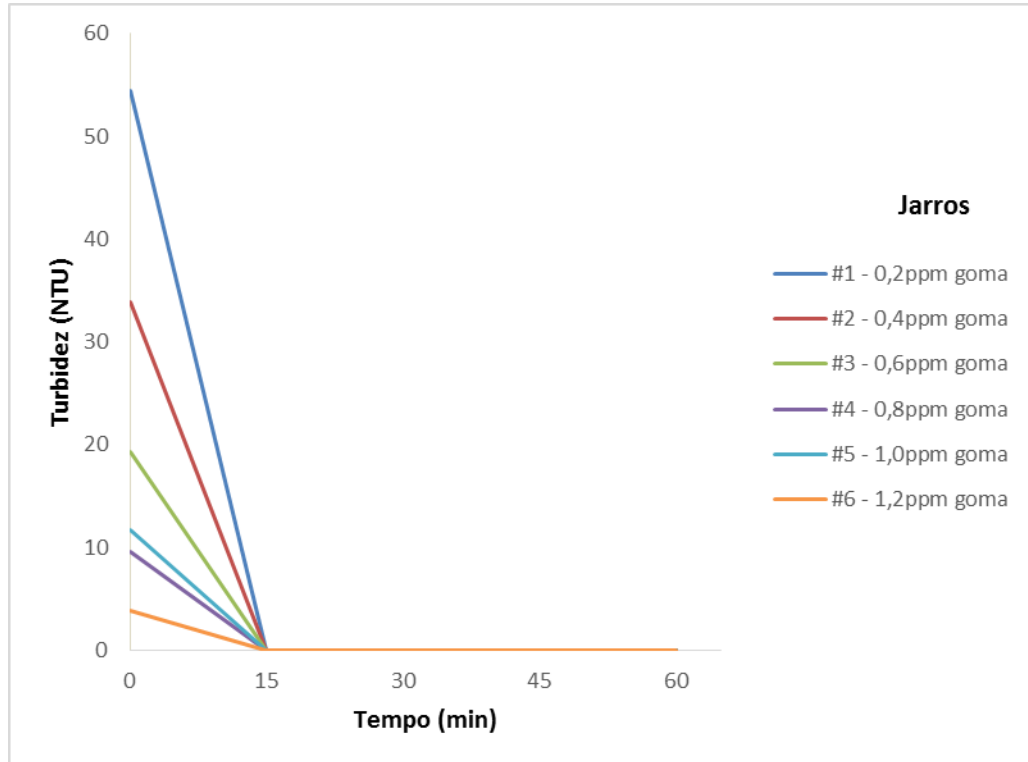


Figura 23 - Resultados de turbidez no teste no teste com solução padrão de goma xantana diluída a quente para: Jarro 1 (0,2 ppm), Jarro 2 (0,4 ppm), Jarro 3 (0,6 ppm), Jarro 4 (0,8 ppm), Jarro 5 (1,0 ppm) e Jarro 6 (1,2 ppm).

De acordo com as Figuras 22 e 23, os melhores resultados de remoção de cor e turbidez foram observados quando se utilizou 5 ppm de PAC e 0,4 ppm de goma xantana diluída a quente, no tempo de sedimentação 15 min. Neste mesmo tempo de sedimentação houve uma redução nos valores de cor e turbidez, e estes valores continuaram baixos durante todo o período de sedimentação.

5.2.4 Análise comparativa entre os testes sem goma, com goma diluída a frio e a quente.

A Tabela 2 apresenta a comparação entre os melhores resultados para os ensaios com PAC (concentração de 5 ppm, no tempo de 60 min), com goma xantana diluída a frio (0,4 ppm, no tempo de 15 min) e diluída a quente (0,4 ppm, no tempo de 15 min).

Tabela 5 - Resultados cor e turbidez para ensaios com PAC, goma fria e quente, para a concentração de 5 ppm de PAC e 0,4 ppm de goma.

TEMPO (min)	SOLUÇÃO	COR (uC)	TURBIDEZ (NTU)
60	PAC	20	1,36
15	Goma Fria	60	3,67
15	Goma Quente	20	0,02

Os melhores resultados alcançados dentre todos os ensaios, foram quando se utilizou a goma diluída a quente na concentração de 0,4 ppm (Jarro 2) no tempo de sedimentação de 15 min, e de acordo com os dados obtidos nestas condições, as porcentagens de remoção foram 94,8% e 99,7% para cor e turbidez, respectivamente. Para a goma diluída a frio, as porcentagens de remoção foram de 84,6% para cor e 94,6% para turbidez.

Tomazzoni (2009) obteve em seus estudos resultados similares aos observados neste trabalho, indicando que a eficiência na remoção de cor e turbidez foi mais eficiente quando se utilizou a solução quente do que na solução fria. Por exemplo, a água bruta possuía um valor de 139 uC e, após o tratamento com goma xantana diluída a quente, a cor aparente reduziu para 23 uC, determinando uma eficiência de 83,4%, contra uma eficiência de 78,4% para a solução fria.

Em relação ao primeiro teste utilizando apenas PAC, a eficiência de remoção para o melhor resultado (5 ppm de PAC, no tempo de 60 min) foi de 92,3% para cor e 97,5% para turbidez.

A Portaria 2.914/11 do MS estabelece como valor máximo permitido para a turbidez 5 NTU, e os três ensaios realizados obtiveram resultados satisfatórios para este parâmetro.

Segundo Moraes (2004), valores de turbidez acima de 100 NTU podem causar efeito estético desagradável e podem causar maior dificuldade na desinfecção da água, ocasionando um aumento no teor de cloro residual na mesma.

A respeito do parâmetro cor, essa mesma Portaria estabelece como valor máximo permitido 15 uC, e os testes com PAC e com solução quente de goma xantana foram ligeiramente maiores do que o valor máximo permitido. Já o teste com a solução fria obteve um valor de 60 uC, ultrapassando o valor máximo permitido.

Portanto, o ensaio que obteve o resultado mais satisfatório foi o da solução quente, e para este ensaio de bancada, foi possível obter a redução da concentração de coagulante utilizada na ETA no dia da coleta, de 11 ppm para 5

ppm, atingindo o objetivo inicial de encontrar a menor dosagem ótima de coagulante combinada com goma xantana.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA TRATADA

Após a comparação entre os melhores resultados dos ensaios com PAC, goma diluída a frio e goma diluída a quente, concluiu-se que o melhor entre os três foi o ensaio com a solução quente, e para essa condição foi feita a caracterização físico-química e bacteriológica completa da água tratada.

A Tabela 3 apresenta o resultado dos parâmetros realizados para caracterizar a água tratada com goma xantana diluída a quente, na concentração de 0,4 ppm, descritos no Item 4.

Tabela 6 - Caracterização da água tratada.

ÁGUA TRATADA		
PARÂMETRO		RESULTADO
Cor (uC)		20,0
Turbidez (NTU)		0,02
Sólidos (mg/L)	Totais	68,6
	Fixos	50,3
	Voláteis	18,3
	Dissolvidos	52
	Suspensão	16,6
pH		7,19
Nitrogênio (mg/L)	Amoniacal	0,0
	Nitrito	0,0
	Nitrato	0,3
Fósforo (mg/L)	Fosfato	7,1
Acidez (mgCaCO ₃ /L)		2,0
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)		12,0
Microbiológico (UFC)	Coliformes totais	1,0
	<i>E. coli</i>	0,0

A Figura 24 mostra o resultado da análise bacteriológica da água bruta e tratada. A água bruta apresentou 3 UFC/mL (Unidades Formadoras de Colônias) de *E.coli*, enquanto na água tratada foi observada a ausência de coliformes termotolerantes. A água bruta apresentou 83 UFC/mL de coliformes totais, enquanto a água tratada apresentou apenas 1 UFC/mL.

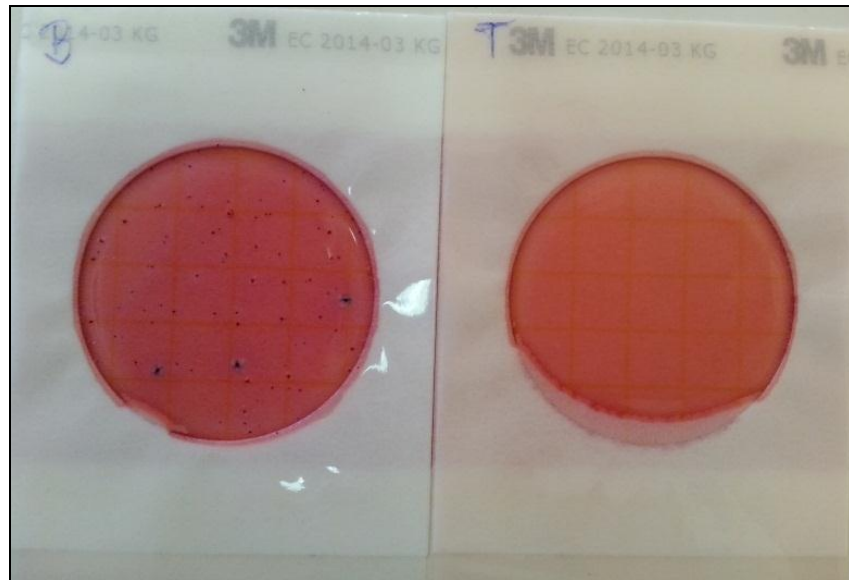


Figura 24 - Comparação do parâmetro microbiológico entre a água bruta e tratada.

Sendo assim, a eficiência na remoção de coliformes termotolerantes foi de 100%, e a de coliformes totais foi de 98,8%.

Para águas destinadas ao consumo humano, a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde define o valor máximo permitido de *E.coli* como sendo ausente em 100 mL, e para este caso, o tratamento realizado atingiu eficiência satisfatória.

Para os coliformes totais, a mesma Portaria estabelece a ausência em 100 mL como indicativo da eficiência no tratamento e, para este estudo, se faz necessário incluir a etapa de desinfecção ao tratamento de água, se a mesma for destinada ao consumo humano.

A remoção de nitrato teve uma eficiência de 77% e a de fosfato 76%, mantendo esses parâmetros dentro dos valores máximos permitidos pela legislação.

O nitrato na água, em termos de NO_3 , em concentrações acima de 50 mg/L podem provocar doenças como a cianose. O nitrogênio também é indicativo de poluição recente, no caso possuir alta concentração de nitrogênio orgânico ou amoniacal, e é indicativo de poluição remota quando possui altas concentrações de nitrato (RICHTER; NETO, 1991). Para as análises de água bruta e água tratada neste estudo, não obteve valores significativos a respeito desses parâmetros.

A alcalinidade da água aumentou devido a adição da solução padrão de coagulante no início dos ensaios.

Segundo Richter e Netto (1991), para sólidos totais dissolvidos, recomenda-se que o teor destes seja menor que 500 mg/L, com um limite máximo aceitável de 1.000 mg/L, pois quantidades excessivas de substâncias dissolvidas na água podem torná-la inadequada ao consumo. A Portaria 2.914 também estabelece o valor máximo permitido para sólidos totais dissolvidos como sendo 1000 mg/L, e para este parâmetro a água tratada atende aos critérios exigidos.

O lodo gerado por polímeros no tratamento de água, ao contrário do lodo gelatinoso e volumoso oriundo do uso de compostos de alumínio, é relativamente mais denso e fácil de ser desidratado, facilitando, assim, o manuseio e a disposição deste (RICHTER; NETTO, 1995).

Estudos feitos por Santos (2011), utilizando o biopolímero Tan Flocc no tratamento de água, mostraram que quanto maior a diluição deste polímero, melhor o resultado, pois este possui alta viscosidade. Essa situação pode ser aplicada ao caso da goma xantana, que quando diluída forma soluções de altíssima viscosidade, podendo comprometer a qualidade da água. Portanto, estudos complementares em relação à diluição da goma são de grande valia.

CONCLUSÃO

Os ensaios em *Jar Test* para a avaliação das dosagens ótimas de coagulante utilizando apenas PAC demonstraram que, para a água em estudo, a cor e a turbidez tiveram uma remoção de 92,3% e 97,5%, respectivamente.

A goma xantana diluída a frio apresentou bons resultados para a concentração de 0,4 ppm, obtendo uma remoção de cor e turbidez de 84,6% e 94,6%. No entanto, os melhores resultados de clarificação foram apresentados com a goma diluída a quente, na concentração de 0,4 ppm. Este ensaio resultou em valores menores de cor e turbidez remanescentes na água decantada, sendo as porcentagens de remoção de 94,8% e 99,7% para cor e turbidez, respectivamente.

Os ensaios com goma xantana como auxiliar de floculação, combinado com PAC, mostraram melhoria na qualidade da água decantada. A goma, diluída a quente e a frio, teve influência no aumento do tamanho do floco formado e no tempo de sedimentação, a qual foi bastante rápida. Essa característica é fundamental em Estações de Tratamento de Água, pois evita que os filtros das mesmas operem sobrecarregados.

A remoção de coliformes termotolerantes foi de 100%, e a de coliformes totais de 98,8%, garantindo uma eficiência significativa do conjunto PAC e goma xantana. Porém, a etapa de desinfecção se faz importante ao final do tratamento, pois não houve a remoção absoluta dos coliformes totais.

Os estudos sobre goma xantana no tratamento de água são recentes, e ainda não existem dados comparativos e recomendações suficientes que condicionem a melhoria dos ensaios. Contudo, as características da goma xantana que merecem destaque na hora da escolha do polímero auxiliar são que a mesma é atóxica, biodegradável, possui ampla faixa de pH, grande poder de floculação e a quantidade consumida no tratamento é baixa.

REFERÊNCIAS

ADITIVOS & INGREDIENTES. As Grandes Gomas: uma visão. **Revista Aditivos e Ingredientes**, São Paulo, n. 79, p. 25-38, jun. 2011. Disponível em: <http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/edicoes_materias.php?id_edicao=61>. Acesso em: 15 dez. 2012.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005, **Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater**. 21st ed., Washington.

ARAÚJO, T. A. de.; FARIA, S.; FRANÇA, F. P. de.; CARDOSO, V. L. Avaliação do Comportamento Reológico dos Diferentes Meios de Produção de Goma Xantana a partir do Caldo de Cana. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 6, 2005, Campinas. Disponível em: <<http://www.feq.unicamp.br/~cobeqic/tFT15.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

AZEVEDO NETTO, J. M. de A. **Tratamento de Águas de Abastecimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1966.

BORBA, L., 2001, **Viabilidade do Uso da *Moringa Oleífera* Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades**. Dissertação de M.Sc., Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

BOZZA, Y. E. A. G. **Encapsulamento *Beijerinckia sp* utilizando spray-drier**. Departamento de Ciência de Alimentos (FEA), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, 2002.

CAMPOS, J. R., POVINELLI, J. Coagulação. In: NETTO et al., **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água**. v. 2., cap. 21, São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, 1976.

CANUTO, A. P. **Desenvolvimento de bioprocesso para produção de goma xantana por fermentação no estado sólido a partir de resíduos e subprodutos agroindustriais**. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos) – Programa de Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos, Universidade Federal do Paraná, 2006. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/18573/CANUTO,%20ANDR%20POLICASTRO.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 3 jan. 2013.

CARDOSO, K. C. **Estudo do processo de coagulação/floculação por meio da *Moringa Oleifera* Lam para obtenção de água potável.** 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

CORDEIRO, A. R. **Goma Xantana: Propriedades, aplicação e procedimentos para obtenção.** 31 f. 2010. Monografia (Especialização em Processos Biotecnológicos). Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2010.

DEL PINO, F. A. B.; VENDRUSCOLO, C. T.; BORGES, C. D.; MOREIRA, A. N.; MOREIRA, A. da S. Caracterização de biopolímeros produzidos por *Beijerinckia* sp. 7070 em diferentes tempos de cultivos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Campinas, jul.-set. 2004, 24(3): p. 327-332. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v24n3/21920.pdf>>. Acesso em: 20 dez 2012.

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

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Di B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** 2. ed, vol. 1. São Paulo: RiMa Editora. 2005.

FARIA, S. Produção de goma xantana empregando caldo de cana por *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* NRRL B- 1459. **Dissertação de mestrado.** Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

FIGUEIRÊDO, G. J. A. de. **Avaliação da presença de alumínio na água do sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa no Estado da Paraíba e os possíveis riscos para a saúde da população.** 2004. 118 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, 2004. Disponível em: <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bte/bte.nsf/F55A852519FCC04003256F95004F6CC1/\\$File/NT000A3546.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bte/bte.nsf/F55A852519FCC04003256F95004F6CC1/$File/NT000A3546.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2012.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Estabilizantes. Food Ingredients Brasil. **Revista-fii,** São Paulo, n.14, p. 42-48, jun/jul. 2010. Disponível em:< http://www.revista-fi.com/edicoes_materias.php?id_edicao=24>. Acesso em: 13 jan. 2013.

GUPTA, B. S.; AKO, J. E. Application of guar gum as a flocculant aid in food processing and potable water treatment. **Springer-Verlag,** 2005. Disponível em: <<http://www.aseanfood.info/Articles/11019926.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

KIRCHMER, C.; ARBOLEDA, J.; CASTRO, M., 1975, **Polímeros Naturales y su Aplicación como Ayudantes de Floculación**, Cepis, Série documentos técnicos 2, Lima, Peru.

LEME, F. P. **Teoria e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABBES, 1990.

LIBÂNIO, M.. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 2. ed. São Paulo: Editora Átomo. 2008.

LIMA, G. J. de A. **Uso de polímero natural do quiabo com auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. 2007. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

LUVIELMO, M. M. SCAMPARINI, A. R. P.; Goma Xantana: produção, recuperação, propriedades e aplicação. **Estudos tecnológicos**, v. 5, n° 1: 50-67, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria n° 2.914 de 12 de dezembro de 2011.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá. 2004.

PRADELLA, J. G. da C. Biopolímeros e Intermediários Químicos. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, São Paulo, mar. 2006. Disponível em: < http://www.anbio.org.br/pdf/2/tr06_biopolimeros.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2012.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2009.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1991.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO, J. H. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgar Blücher, 1995.

ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: NETTO et al., **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água**. v. 2., cap. 26, São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 1976.

SANTOS, N. A. P. **Avaliação do desempenho de produtos químicos na coagulação da água produzida na ETA do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro com vistas à redução dos seus custos.** 2011. 57 f. Dissertação (Projeto de Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.

SHARMA, B. R.; DHULDHOYA, N. C.; MERCHANT, U.C. Flocculants – an Ecofriendly Approach. **J Polym Environ**, 14:195–202, 2006. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&sqi=2&ved=0CFkQFjAC&url=http://www.taiyolucid.com/pdf/flocculants.pdf&ei=_GljUaSjDsyF0QGP-4GADw&usq=AFQjCNEanU9y2GNRp9uxKLy2bzwevF6iog&sig2=xeF11dA6DcnF_xXKA8w4nA&bvm=bv.44770516,d.eWU>. Acesso em: 9 abr. 2013.

SILVA, T. S. S. da. **Estudo de Tratabilidade Físico-Química com Uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento de Esgoto.** 1999. 85 f. Dissertação (mestrado em Saúde Pública) – Programa de Pós Graduação da Fundação Oswaldo Cruz. 1999. Disponível em: <<http://portalteses.icict.fiocruz.br/pdf/FIOCRUZ/1999/silvatssm/capa.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2013.

SPINELLI, V. A. **Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água.** 2001. 134 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82191/201719.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

TOMAZZONI, G. Goma Xantana como Auxiliar de Flocculação no Tratamento de Águas para Abastecimento. In: Semana de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão, 2009, Irati-PR. **Anais...** Irati, PR.: SIEPE, 2009.

ZARA, R. F.; THOMAZINI, M. H.; LENZ, G. F. Estudo da Eficiência de Polímero Natural Extraído do Cacto Mandacaru (*Cerus Jamacaru*) Como Auxiliar nos Processos de Coagulação e Flocculação no Tratamento de Água. **REA – Revista de Estudos Ambientais** v. 14, n. 2esp, p. 75-83, 2012. Disponível em: <<http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/2935>>.