

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

WENDELL DA SILVA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS EXTRAÍDOS DA BABOSA
(*Aloe arborescens*) E AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE
FLOCULAÇÃO E COAGULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2017**

WENDELL DA SILVA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS EXTRAÍDOS DA BABOSA
(*Aloe arborescens*) E AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE
FLOCULAÇÃO E COAGULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – *Campus* Pato Branco, como requisito parcial para a conclusão do Curso Bacharelado em Química.

Professor Orientador: Dr. ^a Raquel Dalla Costa da Rocha

Coorientadora: Aline Sasso

PATO BRANCO

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado Caracterização de Biopolímeros Extraídos da Babosa (*Aloe Arborescens*) e Avaliação no Processo de Flocculação e Coagulação no Tratamento de Água foi considerado APROVADO de acordo com a ata da banca examinadora N° **8.1.2017-B** de 2017.

Fizeram parte da banca os professores:

Dr. ^a Raquel Dalla Costa da Rocha

Dr. Rodrigo Brackmann

Lilian Daiana Haupenthal

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para concluir mais essa etapa na minha vida.

Agradeço também a Universidade Tecnológica do Paraná – *Campus* Pato Branco, lugar que me possibilitou abranger meus conhecimentos e aprimorá-los me fazendo crescer tanto no âmbito profissional quanto no pessoal.

Agradeço ainda, a minha orientadora Raquel por me guiar nessa etapa da minha formação e a Aline Sasso por me coorientar, assim como ao Rodrigo Brackmann e a Lilian Haupenthal por aceitarem fazer parte da minha banca e pelas contribuições.

Por fim, mas não menos importante, à minha família e meus amigos que são meu alicerce, sem eles tudo seria mais difícil.

“São nossas escolhas que mostram o que realmente somos, mais do que nossas habilidades.”

J. K. Rowling

RESUMO

SANTOS, W. S. **Caracterização de Biopolímeros Extraídos da Babosa (*Aloe arborescens*) e Avaliação no Processo de Floculação e Coagulação no Tratamento de Água**. 41p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

As plantas mucilaginosas vêm, a cada dia, sendo mais estudadas no processo de floculação/coagulação com a finalidade de avaliar sua eficiência no tratamento de água, buscando diminuir o uso de flocculantes inorgânicos ou até mesmo substituí-los por esses biomateriais. Pensando nisso, o objetivo principal do trabalho foi caracterizar e avaliar o biopolímero da *Aloe arborescens* no processo de floculação/coagulação no tratamento de água superficiais. Para isso o polímero natural foi caracterizado quimicamente por espectroscopia na região do infravermelho médio por transformada de Fourier (IV-TF), difratometria de raio X (DRX) e por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A mucilagem foi estudada estatisticamente por delineamento composto central 2^3 para avaliar sua eficiência no processo de floculação/coagulação. A caracterização estrutural mostrou que o biopolímero estudado é um composto glicoproteico, que apresenta estrutura amorfa, com adesão das partículas menores às superfícies das partículas maiores, podendo indicar que a mucilagem da *Aloe arborescens* pode ser um bom agente flocculante. No processo de tratamento houveram reduções na turbidez (0,00 – 46,79%) que não se mostraram estatisticamente significativas e reduções dos compostos húmicos, que absorvem na região UV₂₅₄ (0,00 – 55,72%) e aromáticos, que absorvem na região UV₂₈₀ (0,00 – 61,29%), apresentando valores estatisticamente significativos para a variável dependente tempo de contato na floculação (TCF) conforme o delineamento composto central. O biopolímero da *Aloe arborescens* pode ser considerado uma alternativa para a substituição de compostos inorgânicos, no processo de floculação/coagulação no tratamento de água, para a redução de compostos húmicos e aromáticos, assim como a produção de lodos biodegradáveis.

Palavras chave: biodegradabilidade, polissacarídeos, planejamento experimental.

ABSTRACT

SANTOS, W. S. **Characterization of Biopolymer Extracted from Babosa (*Aloe arborescens*) and Evaluation in the Process of Flocculation and Coagulation in Water Treatment.** 41p. Final Paper (Bachelor of Chemistry) – Federal University of Technology of Paraná. Pato Branco, 2017.

The mucilaginous plants, have been frequently more studied in the process of flocculation/coagulation with the purpose of evaluate their efficiency in water treatment. Using these plants, the goal is to reduce the use of inorganic flocculants or even to replace them with these biomaterials. The main objective of this work was to characterize and evaluate the biopolymer of *Aloe arborescens* in the flocculation/coagulation process in superficial water treatment. To achieve this objective, the natural polymer was chemically characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X ray diffractometry (RXD) and scanning electron microscopy (SEM). The mucilage was studied statistically by central composite design 2^3 to evaluate its efficiency in the process of flocculation/coagulation. The structural characterization indicated that the biopolymer studied was a glycoprotein compound, which has an amorphous structure, with adhesion of the smaller particles in the surfaces of larger particles. This indicates that the mucilage of *Aloe arborescens* can be a good flocculating agent. In the treatment process, there were reductions in turbidity (0.00-46.79%) that were not statistically significant and reductions of the humic compounds, absorbing in the UV₂₅₄ region (0.00- 55.72%) and aromatic, absorbing In the UV₂₈₀ region (0.00-61.29%), according to the central composite design, presenting these statistically significant values to the contact time dependent variable in flocculation (TCF). Finally, the biopolymer of *Aloe arborescens* can be considered an alternative substitution for inorganic compounds - in the process of flocculation/coagulation in the treatment of water - for the reduction of humic and aromatic compounds, as well as the production of biodegradable sludge

Keywords: biodegradability, polysaccharides, Experimental planning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 O CICLO DA ÁGUA	14
3.1.1 Histórico do tratamento de água	15
3.1.2 Processo de tratamento da água	16
3.1.3 Etapas que envolvem o tratamento da água	17
3.2 TRATAMENTOS ALTERNATIVOS NO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO/COAGULAÇÃO	18
3.2.1 Plantas Mucilaginosas	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 AQUISIÇÃO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA A LIOFILIZAÇÃO	21
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PLANTAS MUCILAGINOSAS	21
4.3 AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	22
4.4 APLICAÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS NO TRATAMENTO DE ÁGUA	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 CARACTERIZAÇÃO	24
5.1.1 Espectroscopia na região do Infravermelho por Transformada de Fourier (IV-TF)	24
5.1.2 Difratomia de raios X (DRX)	26
5.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	27
5.2 AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	28
6 CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	14
Figura 2. Diagrama da distribuição da água no planeta.....	16
Figura 3. Aloe arborescens.	20
Figura 4. Espectro de IV-TF do biopolímero da Aloe arborescens.....	24
Figura 5. Difratoograma de raio X para mucilagem de Aloe arborescens.	26
Figura 6. Micrografias Aloe arborescens nas ampliações de a) 50x b) 120x e c) 300x.	28
Figura 7. Gráficos de curva de contorno para a variável resposta R254 em função das interações entre as variáveis (a) TCF e [B] e (b) (TCF) e (TCC) no processo de coagulação/floculação no tratamento de afluentes pelo biopolímero de Aloe arborescens.....	31
Figura 8. Gráficos de curva de contorno para a variável resposta R280 em função das interações entre as variáveis (a) TCF e [B] e (b) (TCF) e (TCC) no processo de coagulação/floculação no tratamento de afluentes pelo biopolímero de Aloe arborescens.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis variáveis avaliados de acordo com o delineamento composto central 2^3 para as variáveis independentes.	22
Tabela 2. Delineamento composto central para o processo de floculação/coagulação de biopolímeros da <i>Aloe arborescens</i>	29
Tabela 3. Parâmetros de avaliação para a variável RT	30
Tabela 4. Parâmetros de avaliação para a variável R254	30
Tabela 5. Análise de variância para R254.....	30
Tabela 6. Parâmetros de avaliação para a variável R280	32
Tabela 7. Análise de variância para R280.....	32

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, devido ao elevado índice de industrialização e à crescente necessidade agrícola, há um crescimento nas necessidades hídricas. Estudos revelam que mais de trinta países no mundo sofrem com a escassez de água. Mundialmente, mais de um bilhão de pessoas se quer têm acesso a qualquer tipo de água potável e mais de três bilhões não têm nenhum tipo de serviço de saneamento básico (BARLOW; CLARKE, 2003). Estima-se que, até o ano de 2025, o mundo terá um aumento na sua população de 2,6 bilhões de pessoas, dessas, 2/3 viverão em condições sérias de escassez de água, enquanto 1/3 viverá com escassez absoluta de água. A oferta de água potável no mundo, também no ano de 2025, será 56% inferior em relação à demanda (BARLOW; CLARKE, 2003).

Uma das possíveis causas dessa futura escassez é o chamado ciclo “moderno” da água. Esse ciclo se mostra como um dos maiores problemas ambientais, tendo em vista que a água que é destinada à população em geral e ao processo industrial, após a utilização, retorna, na maioria das vezes, para a sua fonte de origem, necessitando, assim, de um maior controle de qualidade no processo. Esses efluentes não recebem um tratamento prévio adequado necessário para uma melhora no sistema hídrico de abastecimento populacional como um todo.

Tendo em vista essa problemática, o cunho ambiental atual vem motivando os pesquisadores a elaborar modelos de gestão capazes de atender toda a demanda, sem que haja uma redução na qualidade, visando assim obter resultados satisfatórios em relação a materiais que possam mostrar-se eficientes. Além disso, há também uma preocupação envolvendo a substituição dos métodos utilizados atualmente, onde seu tratamento é baseado na utilização de produtos químicos inorgânicos, capazes de obter resultados satisfatórios no processo de floculação/coagulação dos sólidos suspensos presentes na água a ser tratada. No entanto, estes apresentam fatores prejudiciais à saúde do ecossistema (ROSALINO, 2011). No entanto, estes apresentam fatores prejudiciais à saúde do ecossistema (ROSALINO, 2011).

No tratamento de águas superficiais, vários floculantes/coagulantes são comumente utilizados para a sua purificação, sendo o sulfato de alumínio, $[Al_2(SO_4)_3]$, o mais utilizado no processo devido a sua alta capacidade de realizar a floculação/coagulação dos sólidos presentes na água a ser tratada. Facilidade no

manuseio e custo relativamente baixo também são atrativos desta metodologia de purificação de águas (HUANG; CHEN; PAN, 2000). Os mesmos autores apontam significativos problemas em relação ao uso do sulfato de alumínio, como por exemplo a produção de lodo não biodegradável com altas concentrações desse metal. Além disso, o $[Al_2(SO_4)_3]$ tem a capacidade de flocular/coagular todos os sólidos presentes na água, porém o excesso desse sal continua em suspensão, sendo ingerido pelos consumidores.

Nesse sentido, o uso de polímeros naturais tem se mostrado como uma alternativa promissora na substituição do $[Al_2(SO_4)_3]$ uma vez que essa substituição eliminaria substâncias potencialmente prejudiciais à saúde. Di Bernardo e Dantas (2005) salientam que uma das vantagens na utilização de biopolímeros é que esses são obtidos a partir de metodologias que utilizam processos químicos não complexos, tornando a sua utilização mais atrativa no aspecto econômico.

Outro viés é a utilização dos polímeros naturais como complementação do processo de tratamento, o que já seria um avanço em se tratando do aspecto ambiental, além do menor custo. Visando atingir esses objetivos, os coagulantes naturais mostram-se como uma possível alternativa rentável, que tem surgido em países em desenvolvimento (JAHN, 1988 *apud* RAMOS, 2005).

Se tratando de coagulantes naturais, as plantas mucilaginosas são as que apresentam maior ação coagulante no processo de tratamento de água por apresentarem, como constituintes básicos, os biopolímeros em sua parede celular (DI BERNARDO, 1993).

Nesse contexto, o presente estudo visa a extração, caracterização e aplicação dos biopolímeros extraídos da babosa (*Aloe arborescens*) no processo de coagulação/floculação do tratamento para água potável.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar os biopolímeros extraídos da babosa (*Aloe arborescens*) e, aplicá-los no processo de floculação/coagulação do tratamento de água superficiais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair o biopolímero da planta babosa (*Aloe arborescens*);
- Caracterizar os polímeros naturais pelas técnicas analíticas de espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (IV-TF), difratometria de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Avaliar a eficiência da utilização dos biopolímeros no processo de tratamento de água utilizando como ferramenta o planejamento fatorial 2³.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O CICLO DA ÁGUA

De acordo com Pinto, Holtz e Martins (1973), o ciclo biogeoquímico da água consiste em uma circulação contínua. A água se encontra distribuída em três reservatórios principais, os oceanos, os continentes e a atmosfera, o que constitui o ciclo hidrológico em si.

Tratando ainda do ciclo, segundo Camargo (2005), 2/3 da superfície terrestre estão cobertas por água no estado líquido e sólido, já a água em forma gasosa tem um percentual variável, podendo ocupar até 4% de todo seu volume.

O ciclo hidrológico (Figura 1), como a maioria dos ciclos biogeoquímicos, possui a característica de se auto renovar a cada processo, em função disso, a água disponível hoje, é a mesma de milhares de anos atrás.



Figura 1. Ciclo hidrológico.
Fonte: CESAN, 2013.

3.1.1 Histórico do tratamento de água

Não se pode falar de tratamento de água sem citar a Inglaterra, que foi pioneira ao criar a primeira estação de tratamento de água do mundo no ano de 1829, cuja principal função era filtração das águas do rio Tâmis para o abastecimento de sua população (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009). No decorrer dos anos, novos métodos de tratamento foram adicionados ao processo, sendo que o sulfato de alumínio foi inserido a este no ano de 1880 na Holanda pelo engenheiro alemão B. Salbach, como pré tratamento para a filtração previamente dita (NETTO, 1968).

Ainda segundo Netto (1968), o sulfato de alumínio só veio a ser utilizado como agente coagulante/floculante um ano depois, na cidade de Bolton na Inglaterra, onde verificou-se sua capacidade de precipitação dos sólidos presentes na água, sendo utilizado em larga escala até os dias de hoje. Porém, devido às legislações ambientais que entraram em vigor no Brasil nos últimos anos, o processo de floculação/coagulação teve que ser revisto e adaptado.

Pensando nisto, estudos recentes questionam o uso do sulfato de alumínio e discutem sobre, até que ponto, esse sal é uma substância eficaz no processo, pois, após o tratamento, o alumínio remanescente permanece em suspensão e vem a ser ingerido pelo consumidor final; também é encontrado em elevadas concentrações no lodo gerado ao final do processo, o que impede que esse lodo seja destinado à adubagem uma vez que a contaminação por esse metal está relacionado a doenças como Alzheimer e vários tipos de câncer (CLAYTON, 1989).

Desse modo, é de suma importância o desenvolvimento e a utilização de coagulantes alternativos neste processo, porém estes deverão ser bem aceitos pela comunidade ambiental assim como ter um baixo custo. Neste contexto, os polímeros naturais extraídos de plantas vêm ganhando espaço recentemente.

3.1.2 Processo de tratamento da água

De toda água disponível no planeta (Figura 2), apenas 3% é considerada água doce, destes, 2% encontram-se nas geleiras e menos de 1% está disponível na superfície terrestre.



Figura 2. Diagrama da distribuição da água no planeta.
Fonte: CESAN, 2013.

Dentre as águas que se encontram disponíveis na superfície terrestre, nem todas são próprias para o consumo imediato, necessitando assim, receber um tratamento prévio adequado, que possibilitará a classificação desta água como potável (CESAN, 2013).

A água é um dos elementos essenciais para a vida no planeta. Devido a sua alta taxa de poluição, ocasionada principalmente pelos efluentes industriais e domésticos, o volume de água que não precisa passar por nenhum tratamento para torná-la potável está cada vez menor. O ônus ocasionado pela recuperação dessa água gera uma despesa muito maior para as empresas do que o tratamento previamente dito (BRAGA *et al.*, 2005). Uma das principais etapas do tratamento de água e efluentes é a etapa de coagulação/floculação, que faz toda a diferença nas etapas posteriores do tratamento. A tecnologia atual adotada no processo de floculação/coagulação usa eficientes coagulantes inorgânicos de origem química, que atuam ativamente nesses processos, que em sua maioria são constituídos por sais de ferro e alumínio (KAWAMURA, 2000).

3.1.3 Etapas que envolvem o tratamento da água

Baseado na Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN, 2013), o processo de tratamento de água consiste em tratamentos físicos e químicos que serão explanados:

- Coagulação - adição de $[Al_2(SO_4)_3]$, $(FeCl_3)$ ou outro coagulante, com agitação severa, para a desestabilização elétrica das partículas suspensas, facilitando sua agregação, devido à minimização das forças repulsivas que mantêm as impurezas separadas.
- Floculação - consiste na inserção de $[Al_2(SO_4)_3]$, com agitação lenta cujo objetivo é promover a adesão das partículas para que haja uma aglutinação dos sólidos em formas de flocos.
- Decantação - nesta etapa, não é adicionado nenhum produto químico, consiste somente na retirada dos flocos formados na etapa anterior.
- Filtração - tratamento físico que visa a remoção dos flocos remanescentes do processo da decantação, tem também a capacidade de filtrar microrganismos patogênicos.
- Desinfecção - processo químico que consiste na adição do elemento cloro (Cl), que tem como função eliminar os microrganismos patogênicos que persistirem das etapas anteriores.
- Fluoretação - também um processo químico cujo objetivo principal é a diminuição da incidência de cárie. É realizada por meio da adição de ácido fluossilícico (H_2SiF_6)
- Neutralização ou correção do pH - último processo de tratamento que visa a correção no pH por meio da adição da cal hidratada $[Ca(OH)_2]$ com o intuito de corrigir o pH a fim de se evitar a corrosão das tubulações durante o transporte da água tratada até os reservatórios de distribuição.

3.2 TRATAMENTOS ALTERNATIVOS NO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO/COAGULAÇÃO

Observa-se um crescente interesse, por parte dos pesquisadores, na flora brasileira. Isso se dá pelo fato do país ser detentor da maior biodiversidade do planeta, cerca de 22% (LEWINSOHN; PRADO, 2000). Dessa forma, essa vasta variabilidade possibilita a descoberta ou até mesmo a melhoria de vários processos existentes, viabilizando até mesmo uma modificação nas metodologias empregadas atualmente.

As plantas possuem, em sua parede celular, macromoléculas denominadas biopolímeros, que possuem um papel estrutural importante, sendo responsáveis pela rigidez da parede celular (PAIVA; LIMA; PAIXÃO, 2009). Esses polímeros naturais vêm sendo amplamente estudados devido as suas aplicações tecnológicas, de maneira que sua participação colabore para um desenvolvimento sustentável (BRITO, 2011).

Uma de suas aplicações está relacionada ao tratamento de água no processo de floculação dos sólidos, que visa a substituição do sulfato de alumínio utilizado neste processo, pelo biopolímero estudado, a fim de se reduzir os custos, visando o comprometimento ambiental e social, atrelado ao uso de substâncias com um possível potencial nocivo ao meio ambiente e à saúde populacional.

3.2.1 Plantas Mucilaginosas

O estudo de plantas mucilaginosas como biomaterial capaz de atuar como agente floculante/coagulante no processo de tratamento de água vem sendo cada vez mais promissor na visão ecológica do sistema de tratamento de água. Por serem moléculas orgânicas, o ônus à população que vier a consumir a água tratada com esse biopolímero é significativamente menor do que quando comparada com a água tratada com sulfato de alumínio, por exemplo (HELLER; PÁDUA, 2006).

Os polímeros naturais extraídos de plantas mucilaginosas são constituídos à base de polissacarídeos, proteínas e, principalmente, amido, sendo esses componentes capazes de participar do processo de floculação/coagulação dos sólidos

presentes na água durante o tratamento. Vários estudos relacionados à aplicação de plantas mucilaginosas no processo de floculação/coagulação vêm sendo publicados, utilizando os mais diversos tipos de plantas como: o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), mutamba (*Guazuma ulmifolia*), cacau (*Theobroma cacao*) (DE ABREU; SANTOS; SOUZA, 1998), Quebracho (*Schinopsis balansae*), mimosa (*Acacia mearnsii*) e moringa (*Moringa oleífera*) (AYHAN ŞENGIL; ÖZACAR, 2008; YURTSEVER; ŞENGIL, 2009; BELTRÁN-HEREDIA; SÁNCHEZ-MARTÍN; GÓMEZ-MUÑOZ, 2010).

Dependendo de sua estrutura, os polissacarídeos podem apresentar diversas propriedades físicas úteis comercialmente. A aplicação desses materiais como aditivos em processos industriais é extensa, podendo-se citar indústrias alimentícias e farmacêuticas como exemplo disso. Nos últimos anos, o uso de polímeros na indústria ao redor do mundo só vem aumentando (MERCÊ *et al.*, 2001).

Desta forma, o uso de biopolímeros no processo de floculação/coagulação no tratamento de água deve ser amplamente estudado e estimulado de modo que a população venha a se beneficiar com as novas tecnologias capazes de substituir os métodos centenários utilizados atualmente e que têm se mostrado saturados e ultrapassados.

3.2.1.1 Babosa (*Aloe arborescens*) como fonte alternativa na floculação

O *Aloe arborescens* (Figura 3) pertence à família *Liliaceae*, tratando-se de uma planta arbustiva, atinge até 3 metros de altura (HERBÁRIO VIRTUAL, 2016). A babosa tem características que possibilitam sua utilização, como alternativa, no processo de floculação/coagulação dos sólidos presentes no tratamento da água, por ter em seu interior uma substância viscosa conhecida como “gel de babosa” também nomeado de mucilagem (JYOTI NEMA; MITRA, 2013).



Figura 3. *Aloe arborescens*.
Fonte: HERBARIO VIRTUAL, 2016.

A mucilagem da babosa é constituída por diversos compostos, dentre os quais se destacam vitaminas, aminoácidos, polissacarídeos, enzimas, ácidos graxos, ligninas, saponinas, complexos antraquinônicos, alantoína e sais minerais (JYOTI NEMA e MITRA 2013; PEREIRA E FRASSON, 2007).

Dentre as funções do biopolímero encontrado nessa mucilagem, está a capacidade de desestabilizar a carga elétrica dos sólidos suspensos, aglomerando as partículas dispersas em águas oriundas de rios e represas por meio da floculação e coagulação (HESPANHOL, 1982), capacidade de reduzir os compostos que absorvem na região de 254 nm no ultravioleta (UV₂₅₄), sendo esses em sua maioria carboxilas, fenóis e hidroxilas, oriundos da decomposição da matéria orgânica de plantas e animais (substâncias húmicas) (ALVAREZ-PUEBLA; VALENZUELA-CALAHORRO; GARRIDO, 2006; QIN *et al.*, 2015) e compostos que absorvem na região de 280 nm no ultravioleta (UV₂₈₀) (APHA, 1995), em sua maioria contaminantes farmacêuticos, tais como: ibuprofeno, diclofenaco (ALMEIDA *et al.*, 2004), têxteis, provenientes de corantes com cadeias insaturadas (HASSEMER *et al.*, 2012), ou ainda derivados da lignina, originários das indústrias de papel e celulose (substâncias aromáticas) (BARROS; NOZAKI, 2002), esses resultados foram determinadas por turbidímetro (Tecnopon TB-1000) e por espectrofotômetro UV-Vis (Evolution 60S), respectivamente. Dessa forma, biopolímeros se mostram como uma alternativa rentável pelo seu baixo custo e pela ação floculante notável e ainda por ser um biomaterial não prejudicial à saúde (ABREU LIMA, 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 AQUISIÇÃO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA A LIOFILIZAÇÃO

As amostras mucilaginosas de babosa (*Aloe arborescens*) foram coletadas na Região Sudoeste do Paraná. A babosa possui uma vantagem quanto à extração da mucilagem presente na planta, pois não necessita de nenhum tratamento químico específico para conseguir isolar o biopolímero; é necessário apenas retirar a parte verde da folha para obter a parte interna da planta, sendo esse material polimérico a ser estudado. O biopolímero obtido foi congelado e posteriormente levado ao liofilizador (Liotop–L1019). Após este procedimento, o polímero natural encontra-se pronto para a aplicação.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PLANTAS MUCILAGINOSAS

Na etapa de caracterização química da amostra, a determinação dos principais grupos funcionais foi realizada por espectroscopia na região do infravermelho médio por transformada de Fourier (IV-TF) (Perkin Elmer FT-IR Frontier) de 400 a 4000 cm^{-1} , com resolução de 2 cm^{-1} utilizando pastilhas de KBr contendo o polímero natural nas proporções mássicas de KBr:amostra de 99:1.

O grau de cristalinidade foi determinado por difratometria de raios X (DRX) em equipamento Rigaku Miniflex600, com varredura angular de 5 a 80° e passo de 5°, empregando fonte de cobre $\text{K}\alpha$ 40 kV e 15 mA.

Por fim, a morfologia e o grau de homogeneidade das partículas foram avaliadas por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em equipamento Hitachi TM3000 nas ampliações de 50, 120 e 300x.

4.3 AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

As amostras de água bruta foram captadas da única fonte de abastecimento de água para a comunidade de Pato Branco (Rio Pato Branco).

O planejamento experimental se deu por delineamento composto central 2^3 (2 níveis, 3 pontos centrais e 6 pontos axiais) utilizado para avaliar o desempenho do biopolímero (Tabela 1) no processo de coagulação/floculação em relação aos fatores (variáveis independentes) concentração de biopolímeros ([B]), tempo de contato na coagulação (CTC) e tempo de contato na floculação (CTF) sobre as variáveis dependentes: redução de turbidez (RT), remoção de compostos que absorvem em 254 nm (UV_{254}), como medida indireta de substâncias húmicas (R254), e compostos que absorvem em 280 nm (UV_{280}) (APHA, 1995), como medida indireta de substâncias aromáticas (R280).

Tabela 1. Níveis variáveis avaliados de acordo com o delineamento composto central 2^3 para as variáveis independentes.

Variáveis Independentes	Símbolos	Coordenadas e valores reais				
		-1,68	-1	0	1	1,68
Concentração do biopolímero ($g L^{-1}$)	[B]	0,50	1,40	2,75	4,10	5,00
Tempo de contato na coagulação (s)	TCC	20	53	100	147	180
Tempo de contato na floculação (s)	TCF	600	1207	2100	2993	3600

Além da análise de variância nos estudos, foi aplicado o teste de *Tukey* para se determinar que blocos estudados apresentam diferença.

4.4 APLICAÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Os ensaios para avaliação do desempenho dos biopolímeros no processo de coagulação/floculação no tratamento de água foram conduzidos em aparelho Jar test (JT-203/M6), em copos de béquer com volume de 400 mL. A velocidade da mistura rápida foi de 120 rpm, a da mistura lenta de 30 rpm, concentração de sulfato de alumínio utilizado foi de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ (utilizados 2 mL tanto de sulfato de alumínio, quanto da solução contendo o biopolímero) e o tempo de decantação de 30 min foram mantidos constantes.

Os ajustes dos modelos matemáticos gerados e a avaliação da qualidade foram obtidos por meio da estatística de análise de variância (ANOVA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre a água e a saúde humana, a cada dia que passa, vem sendo mais estudada. Os avanços da ciência em diversas áreas possibilitaram estudos envolvendo o tratamento e sua importância (GLEICK *et al.*, 2009). Pensando nisso, polímeros naturais vêm sendo amplamente estudados no processo de tratamento de efluentes devido as suas propriedades coagulantes/floculantes e à geração de lodos biodegradáveis.

5.1 CARACTERIZAÇÃO

5.1.1 Espectroscopia na região do Infravermelho por Transformada de Fourier (IV-TF)

A análise no IV-TF foi realizada a fim de se obter informações referentes aos grupos funcionais presentes na mucilagem. No espectro obtido para a mucilagem da *Aloe arborescens* (Figura 4), é possível observar os principais grupos funcionais presentes no biopolímero.

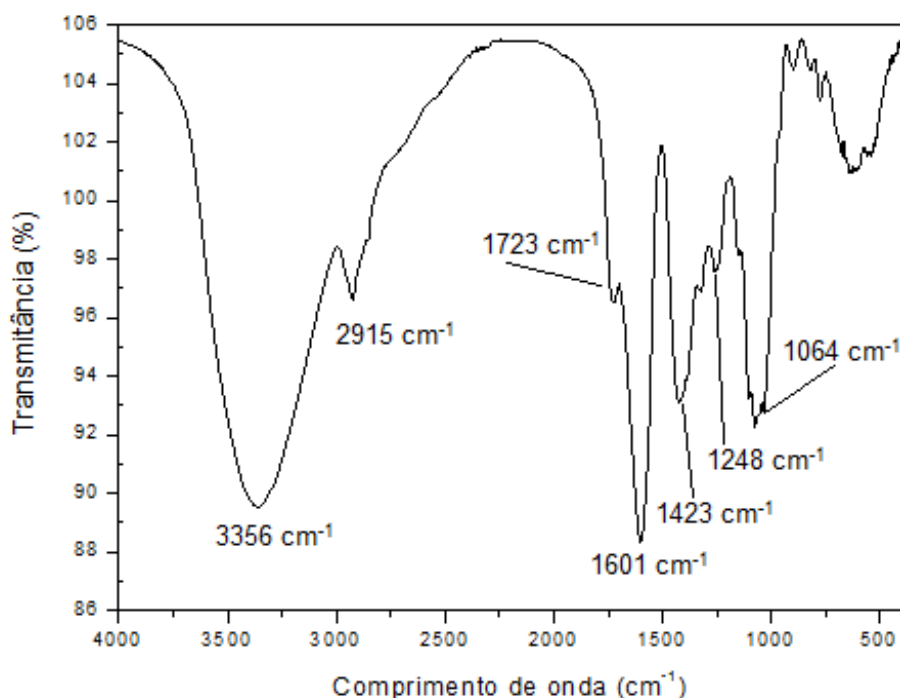


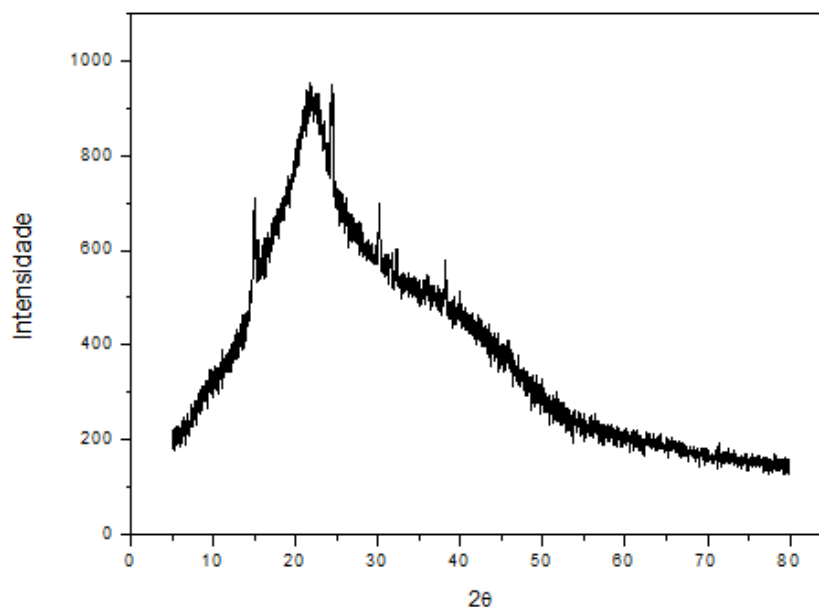
Figura 4. Espectro de IV-TF do biopolímero da *Aloe arborescens*.
Fonte: Autor.

A mucilagem apresenta um sinal intenso e uma banda larga em 3356 cm^{-1} , essa é uma característica atribuída ao estiramento vibracional do grupo O-H de água e álcoois (SILVERSTEIN *et al.*, 2006; PAVIA; KRIZ; LAMPMAN, 2008; YUEN *et al.*, 2009) e aos grupos O-H de unidades monossacarídicas das arabinogalactanas (CAPEK *et al.*, 2013; EHRENFREUND-KLEINMAN *et al.*, 2002; HU *et al.*, 2011; PENG *et al.*, 2012; SINGH & SINGH, 2011; SINGHA; ROY; DEY, 2007; SINGTHONG; NINGSANOND; CUI, 2009, TAJMIR-RIahi, 1984; VINOD *et al.*, 2008). Na região de número de onda de 2915 cm^{-1} , houve uma redução na intensidade dos sinais atribuída às vibrações simétricas e assimétricas do grupamento C-H do CH_2 (SILVERSTEIN *et al.*, 2006; TAVARES *et al.*, 2011). Os números de onda de 1730 e 1601 cm^{-1} se referem à absorção por grupos C=O devido ao estiramento das ligações (EHRENFREUND-KLEINMAN *et al.*, 2002), sendo atribuídas a ésteres (C-O) nas ligações peptídicas e ácidos, respectivamente (PAVIA; KRIZ; LAMPMAN, 2008; TAVARES *et al.*, 2011). Os ácidos podem ser ainda caracterizados pela função carboxila que possuem características de absorção com intensidade moderada em 1423 cm^{-1} e intensidade forte em 1601 cm^{-1} . Essas bandas podem demonstrar a presença de grupos -COO-, característicos de biopolímeros (BOULET; WILLIAMS; DOCO, 2007; POSÉ *et al.*, 2012; SINGH & SINGH, 2011). Bandas de absorção em 1423 cm^{-1} são comumente atribuídas a vibrações das ligações dos grupos C-OH e C-CH (TAJMIR-RIahi, 1984). O sinal característico de absorção no número de onda de 1248 cm^{-1} é relacionado ao estiramento C-O em polissacarídeos (SILVERSTEIN *et al.*, 2006; CAI; GU; TANG, 2008). Por fim, a banda de absorção na região de 1064 cm^{-1} é relacionada às deformações simétricas e assimétricas do grupo C-OH. Nesta região, também é caracterizada a absorção dos carboidratos devido à vibração do anel sobreposto com a vibração da ligação da hidroxila e vibrações de ligações glicosídicas, sinais de intensidade moderada nesse número de onda é como uma impressão digital de um polissacarídeo (TAVARES *et al.*, 2011; POSÉ *et al.*, 2012; SINGTHONG; NINGSANOND; CUI, 2012; KACURÁKOVÁ *et al.*, 2000).

Por meio da comparação do espectro obtido com a literatura, é possível propor que a mucilagem da *Aloe arborescens* é uma glicoproteína da classe das arabinogalactanas, estruturas que estão presentes na parede celular dos vegetais (ASPINALL, 1969; BATSOULIS, 2004).

5.1.2 Difractometria de raios X (DRX)

A caracterização por difratometria de raios X é importante para verificar o grau de cristalinidade do composto estudado. Bons flocculantes/coagulantes possuem características amorfas, isso faz com que haja maior adesão das partículas em suspensão no processo de tratamento. O difratograma de raios X da *Aloe arborescens* liofilizada é observado na Figura 5.

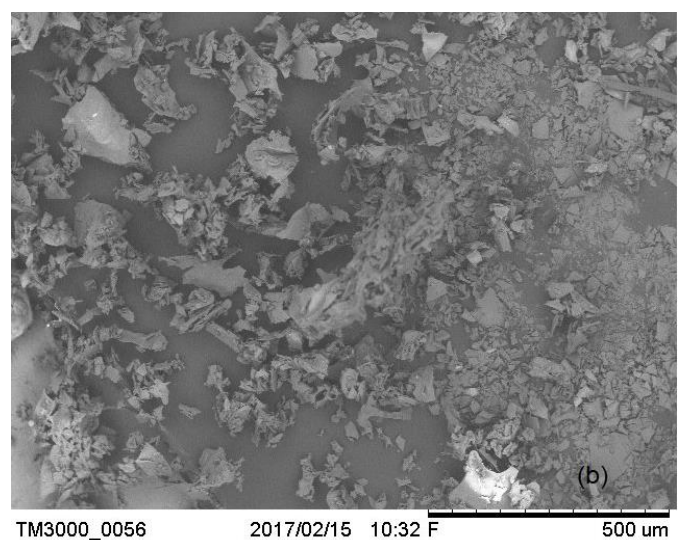
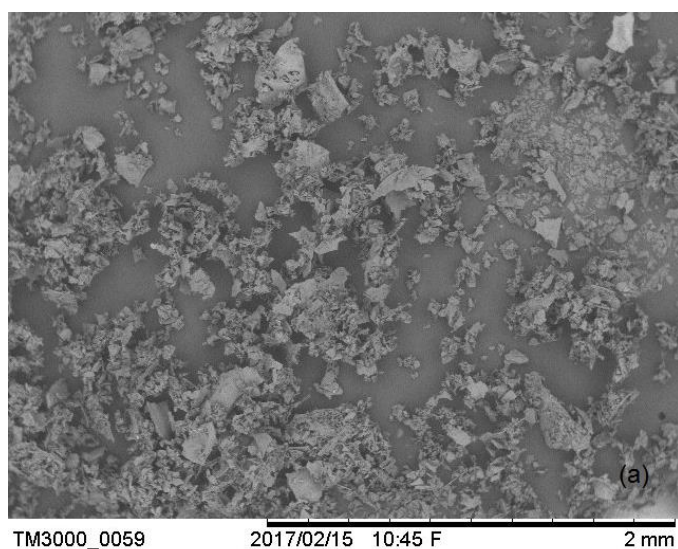


**Figura 5. Difrátograma de raio X para mucilagem de *Aloe arborescens*.
Fonte: Autor.**

O difratograma permitiu observar que a estrutura da amostra analisada é de um material semicristalino; essa característica pode ser observada na faixa de $10^\circ < 2\theta < 80^\circ$. A cristalinidade do material é observada pelos sinais mais intensos (15° , $24,5^\circ$ e $30,1^\circ$ de 2θ), característicos de regiões mais ordenadas no composto, enquanto a amorficidade é indicada pelo halo amorfo, presente no difratograma, característico de regiões desordenadas do material. Comportamentos semelhantes foram observados por Mishra et al. (2006) para mucilagem de feno-grego, Branco (2011) para mucilagem de cladódio de *Cereus hildmaniannus* K. Scum., e Heidemann et al. (2014) para mucilagem de jaracatiá.

5.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As micrografias da *Aloe arborescens* (Figura 6) representam as características morfológicas do biopolímero. Por meio dessas, é possível fazer observações que possibilitam obter dados de porosidade da amostra e até mesmo observar a aderência entre as partículas, características essas que dão informações quanto à eficiência do material como agente floculante/coagulante.



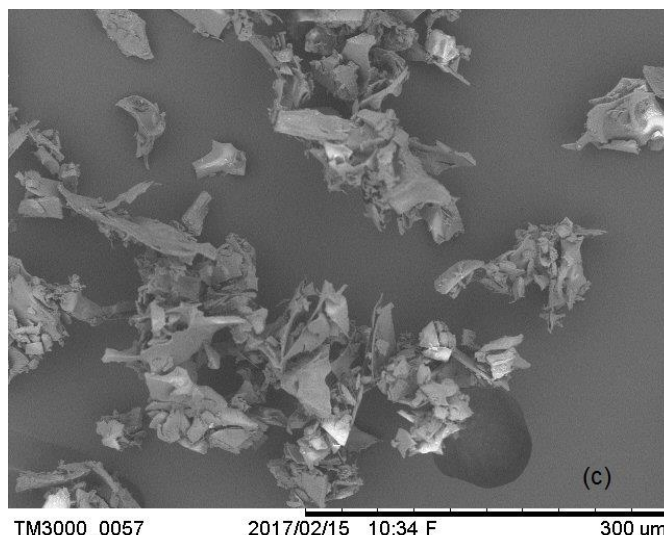


Figura 6. Micrografias *Aloe arborescens* nas ampliações de a) 50x b) 120x e c) 300x. Fonte: Autor.

É possível observar nas imagens obtidas por MEV a evidência de estruturas amorfas, observa-se a aderência das partículas menores à superfície das partículas maiores. Essa adesão pode vir a indicar um aumento da viscosidade do biopolímero. A aparência esponjosa observada é característica comumente atribuída a materiais higroscópicos. Estudos relacionados ao biopolímero da *Pereskia aculeata* Miller de Lima Junior *et al.* (2013), quitosana (CHHABRA, *et al.*, 2016), e a goma xantana (LUVIELMO *et al.*, 2016) apresentaram resultados similares aos obtidos com o biopolímero da *Aloe arborescens*.

5.2 AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O delineamento composto central (Tabela 2) foi proposto com o objetivo de se analisar a concentração de biopolímero ([B]), o tempo de contato na coagulação (TCC) e o tempo de contato na floculação (TCF) em ensaios de floculação/coagulação com o biopolímero da *Aloe arborescens* tendo como variáveis dependentes, a redução da turbidez (RT), a remoção de substâncias húmicas e aromáticas que absorvem nos comprimentos de onda de 254 nm (R254) e 280 nm (R280) respectivamente.

A classificação do Rio Pato Branco, conforme a resolução brasileira que rege a vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano, é tida como classe II, podendo assim, ter sua água destinada ao consumo humano após devido tratamento. O pH determinado foi de 7,3 e a turbidez de 28 UNT (Unidade

Nefelométricas de Turbidez); esses valores estão compreendidos nos limites estabelecidos pela legislação nacional vigente (pH: 6,0 – 9,0 e Turbidez: <100 UT) (BRASIL, 2006). Valores de absorvância em UV₂₅₄ e UV₂₈₀ (0,271 e 0,248) correspondem, respectivamente, a substâncias húmicas e aromáticas dissolvidas na amostra do rio.

Tabela 2. Delineamento composto central para o processo de floculação/coagulação de biopolímeros da *Aloe arborescens*

Corrida	Níveis codificados			Níveis reais			Resultados		
	[B]	TCC	TCF	[B] (g L ⁻¹)	TCC (s)	TCF (s)	RT (%)	R254 (%)	R280 (%)
1	-1,00	-1,00	-1,00	1,40	53	1207	41,43	1,85	1,21
2	1,00	-1,00	-1,00	4,10	53	1207	42,86	0,00	0,00
3	-1,00	1,00	-1,00	1,40	147	1207	43,21	2,58	2,42
4	1,00	1,00	-1,00	4,10	147	1207	46,79	0,00	0,00
5	-1,00	-1,00	1,00	1,40	53	2993	35,71	0,00	0,00
6	1,00	-1,00	1,00	4,10	53	2993	40,00	0,00	0,00
7	-1,00	1,00	1,00	1,40	147	2993	40,36	0,74	0,40
8	1,00	1,00	1,00	4,10	147	2993	39,64	0,00	0,00
9	-1,68	0,00	0,00	0,50	100	2100	21,43	0,00	0,00
10	1,68	0,00	0,00	5,00	100	2100	21,43	0,00	0,00
11	0,00	-1,68	0,00	2,75	20	2100	21,43	0,00	0,00
12	0,00	1,68	0,00	2,75	180	2100	25,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	-1,68	2,75	100	600	0,00	50,55	56,05
14	0,00	0,00	1,68	2,75	100	3600	7,14	55,72	61,29
15	0,00	0,00	0,00	2,75	100	2100	25,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	2,75	100	2100	25,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	2,75	100	2100	30,36	0,00	0,00

Os resultados obtidos pelos pontos centrais apresentaram pouca variação, o que indica que houve uma boa reprodutibilidade do processo de planejamento. Não houve alterações quanto ao pH do afluente (7,3), sendo mantido constante no decorrer do tratamento com o biopolímero da *Aloe arborescens*.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 2, pode-se observar reduções nos valores de turbidez, mas que não se mostraram significativas, levando em consideração os parâmetros estudados. Essa não significância pode ser provada pelos valores de p-valor, todos superiores a 0,05 para o intervalo de confiança de 95% (Tabela 3). A Tabela 3 mostra os valores de efeito estimado, coeficiente de regressão, assim como seus erros.

Tabela 3. Parâmetros de avaliação para a variável RT

Fatores	Efeito	Erro padrão	p-valor	Coefficiente	Erro do coeficiente
Média	25,062	10,258	0,0446	25,062	10,258
[B] (L)	1,256	9,640	0,900	0,628	4,820
[B] (Q)	7,740	10,620	0,490	3,870	5,310
TCC (L)	2,345	9,640	0,815	1,173	4,820
TCC (Q)	9,006	10,620	0,424	4,503	5,310
TCF (L)	-0,963	9,640	0,923	-0,482	4,820
TCF (Q)	-4,913	10,620	0,658	-2,457	5,310
[B] x TCC	-0,714	12,590	0,956	-0,357	6,295
[B] x TCF	-0,357	12,590	0,978	-0,178	6,295
TCC x TCF	-0,357	12,590	0,978	-0,178	6,295

L: linear; Q: quadrática

A porcentagem de redução das substâncias húmicas (UV_{254}) e aromáticas (UV_{280}) também são representadas na Tabela 2. Diferentemente da variável RT, as variáveis R254 e R280 apresentaram resultados significativos para TCF, essa significância é provada pelo p-valor e pode ser observada nas Tabelas 4 e 6, respectivamente.

Tabela 4. Parâmetros de avaliação para a variável R254

Fatores	Efeito	Erro padrão	p-valor	Coefficiente	Erro do coeficiente
Média	1,212	7,108	0,0487	1,212	7,108
[B] (L)	-0,757	6,679	0,913	-0,379	3,340
[B] (Q)	-8,113	7,358	0,307	-4,056	3,679
TCC (L)	0,216	6,679	0,975	0,108	3,340
TCC (Q)	-8,113	7,358	0,307	-4,056	3,679
TCF (L)	0,731	6,679	0,916	0,366	3,340
TCF (Q)*	29,540	7,358	0,00510	14,770	3,679
[B] x TCC	-0,369	8,723	0,967	-0,184	4,362
[B] x TCF	0,922	8,732	0,919	0,461	4,362
TCC x TCF	0,000	8,723	1,000	0,000	4,362

L: linear; Q: Quadrático

* Fatores estatisticamente significativos (p-valor<0,05)

Estatisticamente, o R254 foi influenciado apenas pela variável Tempo de Contato na Floculação (TCF (Q)), ao nível de significância de 5%, tendo como p-valor 0,005 (Q). Com os dados obtidos (Tabela 2), foi possível criar os modelos codificados que descrevem os processos de redução dos compostos húmicos (UV_{254}) dentro dos parâmetros estudados e examiná-los conforme sua qualidade do ajuste (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância para R254

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F _{calc}	F _{calc/tab}
Modelo	1	2452,61	2452,61	4,64	1,03
Resíduo	16	2487,83	528,2		
Total	17	4940,44			

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio

$R^2 = 0,7843$; $F_{0,05;1;16} = 4,49$

O coeficiente de determinação (R^2) do modelo foi de 0,7843, demonstrando que 78,43% da variabilidade dos dados podem ser elucidados pelo modelo proposto, sendo esse, portanto, satisfatório. A razão entre o quadrado médio do modelo pelo do resíduo (F_{calc}), mostra que este modelo foi preditivo uma vez que $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$.

As equações que relacionam os dados de R254 quanto à regressão linear múltipla e o modelo quadrático em função das variáveis independentes TCF-[B] e TCF-TCC, considerando os parâmetros significativos e não significativos, são apresentadas nas Equação 1 e 2.

$$R254 = 1,212 - 0,378 \times [B] - 4,056 \times [B]^2 + 0,366 \times TCF + 14,770 \times TCF^2 + 0,461 \times [B] \times TCF \quad (1)$$

$$R254 = 1,212 + 0,108 \times TCC - 4,056 \times TCC^2 + 0,366 \times TCF + 14,770 \times TCF^2 \quad (2)$$

A influência das variáveis dependentes significativas para R254 são ilustradas na Figura 7, sendo os gráficos das curvas de contorno originados a partir das equações 1 e 2.

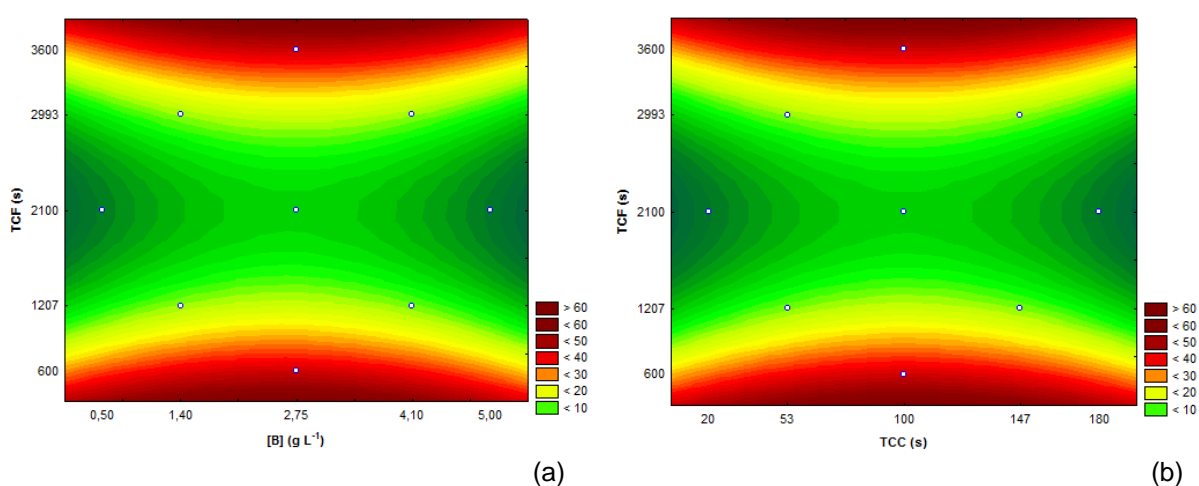


Figura 7. Gráficos de curva de contorno para a variável resposta R254 em função das interações entre as variáveis (a) TCF e [B] e (b) (TCF) e (TCC) no processo de coagulação/floculação no tratamento de afluentes pelo biopolímero de *Aloe arborescens*.

Os gráficos de curva de contorno (Figura 7) indicam que não há diferença significativa na concentração do biopolímero no tratamento, assim como o tempo de contato na coagulação, dessa forma sugere-se a escolha de um ponto central tanto

para [B] quanto para TCC. Já no que diz respeito ao tempo de contato na floculação, há uma diferença significativa, indicando tempos máximos e mínimos como eficientes no processo de tratamento, dessa forma, a escolha de um ponto de TCF mínimo ou máximo faria com que houvesse uma maior redução dos compostos húmicos (que absorvem no comprimento de onda de 254 nm) do meio, porém a escolha de um tempo mínimo ocasionaria um processo mais rentável.

De acordo com a tabela 2, os ensaios 13 e 14 foram os que obtiveram uma maior eficiência na redução das substâncias húmicas (50,55% para o ensaio 13 e 55,72% para o ensaio 14), sendo esses os de menor e maior tempo de contato na floculação, respectivamente.

Tabela 6. Parâmetros de avaliação para a variável R280

Fatores	Efeito	Erro padrão	p-valor	Coefficiente	Erro do coeficiente
Média	1,352	7,916	0,0487	1,352	7,916
[B] (L)	-0,591	7,439	0,939	-0,296	3,720
[B] (Q)	-9,051	8,195	0,306	-4,526	4,098
TCC (L)	0,236	7,439	0,976	0,118	3,720
TCC (Q)	-9,051	8,195	0,306	-4,526	4,098
TCF (L)	0,818	7,439	0,916	0,409	3,720
TCF (Q)*	32,523	8,195	0,00540	16,261	4,098
[B] x TCC	-0,403	9,715	0,968	-0,202	4,858
[B] x TCF	0,806	9,715	0,936	0,403	4,858
TCC x TCF	-0,202	9,715	0,984	-0,101	4,858

L: linear; Q: Quadrático

* Fatores estatisticamente significativos (p-valor<0,05)

Estatisticamente, o R280 foi influenciado apenas pela variável Tempo de Contato na Floculação (TCF (Q)), o mesmo foi observado para R254, ao nível de significância de 5%, tendo como p-valor 0,005 (Q). Com os dados obtidos (Tabela 2), foi possível criar os modelos codificados que descrevem os processos de redução dos compostos aromáticos (UV₂₈₀) dentro dos parâmetros estudados e examiná-los conforme sua qualidade do ajuste (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de variância para R280

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F _{calc}	F _{calc/tab}
Modelo	1	2972,88	2972,88	4,54	1,01
Resíduo	16	3066,00	654,65		
Total	17	6038,88			

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio

R² = 0,7812; F_{0,05;1;16} = 4,49

O coeficiente de determinação (R^2) do modelo foi de 0,7812, demonstrando que 78,12% da variabilidade dos dados podem ser elucidados pelo modelo proposto, sendo esse, portanto, satisfatório. A razão entre o quadrado médio do modelo pelo do resíduo (F_{calc}) mostra que este modelo foi preditivo uma vez que $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$.

As equações que relacionam os dados de R280 quanto à regressão linear múltipla e o modelo quadrático em função das variáveis independentes TCF-[B] e TCF-TCC, considerando os parâmetros significativos e não significativos, são apresentadas nas Equação 3 e 4.

$$R280 = 1,352 - 0,295 \times [B] - 4,525 \times [B]^2 + 0,408 \times TCF + 16,261 \times TCF^2 + 0,406 \times [B] \times TCF \quad (3)$$

$$R280 = 1,352 + 0,118 \times TCC - 4,525 \times TCC^2 + 0,4080 \times TCF + 16,261 \times TCF^2 - 0,010 \times TCC \times TCF \quad (4)$$

A influência das variáveis dependentes significativas para R280 são ilustradas na Figura 8, sendo os gráficos das curvas de contorno originados a partir das equações 3 e 4.

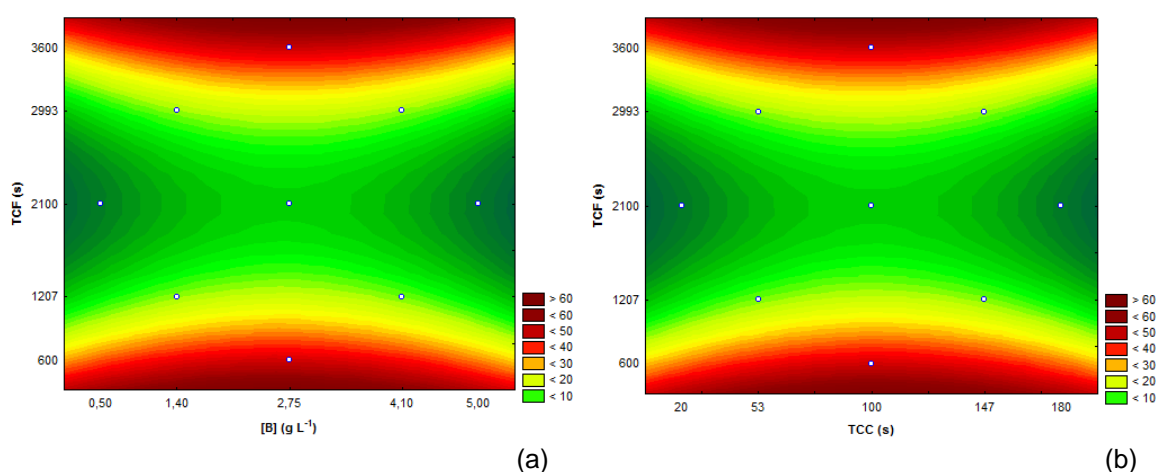


Figura 8. Gráficos de curva de contorno para a variável resposta R280 em função das interações entre as variáveis (a) TCF e [B] e (b) (TCF) e (TCC) no processo de coagulação/floculação no tratamento de afluentes pelo biopolímero de *Aloe arborescens*.

Os gráficos de curva de contorno (Figura 8) indicam que não há diferença significativa na concentração do biopolímero no tratamento, assim como o tempo de contato na coagulação, dessa forma sugere-se a escolha de um ponto central tanto

para [B] quanto para TCC. Já no que diz respeito ao tempo de contato na floculação há uma diferença significativa, indicando tempos máximos e mínimos como eficientes no processo de tratamento, dessa forma, a escolha de um ponto de TCF mínimo ou máximo faria com que houvesse uma maior redução dos compostos aromáticos (que absorvem no comprimento de onda de 280 nm) do meio, porém a escolha de um tempo mínimo ocasionaria um processo mais rentável.

De acordo com a tabela 2, os ensaios 13 e 14 foram os que obtiveram uma maior eficiência na redução das substâncias aromáticas (56,05% para o ensaio 13 e 61,29% para o ensaio 14), sendo esses os de menor e maior tempo de contato na floculação, respectivamente.

6 CONCLUSÕES

Dentre os processos obrigatórios do tratamento de água destinados ao consumo humano, destaca-se a floculação/coagulação. Atualmente são utilizados floculantes inorgânicos nesses processos como o sulfato de alumínio, esses, por sua vez, acabam gerando lodos não biodegradáveis, resultado da precipitação dos sólidos suspensos e solúveis.

A mucilagem da *Aloe arborescens* apresentou características semelhantes a biomateriais que já estão sendo destinados ao processo de floculação, sendo caracterizado como um material de estrutura amorfa.

A avaliação do processo de tratamento se deu em um planejamento por delineamento composto central 2^3 apresentando significância somente no tempo de contato na floculação, para as variáveis dependentes R254 (redução das substâncias húmicas) e R280 (redução das substâncias aromáticas) levando em consideração os parâmetros estudados. Houve ainda uma redução expressiva na turbidez (RT), porém, não significativa, segundo o delineamento composto central 2^3 .

Os resultados foram satisfatórios uma vez que indicaram a possibilidade da utilização do biopolímero da *Aloe arborescens* no processo de tratamento de águas superficiais, tendo como principal objetivo a redução de substâncias húmicas e aromáticas, assim como a produção de lodos biodegradáveis.

REFERÊNCIAS

ABREU LIMA, Guilherme J., **Uso de Polímero Natural do Quiabo como Auxiliar de Floculação e Filtração em Tratamento de Água e Esgoto**. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Rio de Janeiro, 2007.

ALMEIDA, Edna; ASSALIN, Márcia Regina; ROSA, Maria Aparecida; DURÁN, Nelson. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, v. 27, p. 818-824, 2004.

ALVAREZ-PUEBLA, R. A.; VALENZUELA-CALAHORRO, C.; GARRIDO, J. J. Theoretical study on fulvic acid structure, conformation and aggregation: a molecular modelling approach. **Science of the total environment**, v. 358, n. 1, p. 243-254, 2006.

ALVES, Oswaldo L. **Espectroscopia Infravermelho com Transformada de Fourier: Feliz combinação de velhos conhecimentos de ótica, matemática e informática**. UNICAMP, 2016. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/vivencia_lqes_meprotec_espec_fourier.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater**. 19th ed., Washington, D.C: 1995.

ASPINALL, G. O. Gums and mucilages. **Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry**, v. 24, p. 333-379, 1969.

BARLOW, M.; CLARKE, T. **“Ouro azul: como as grandes corporações estão se apoderando da água doce do nosso planeta”**. São Paulo: M. Books do Brasil, 2003.

BARROS, Marcos José de; NOZAKI, Jorge. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 736-740, 2002.

BATSOULIS, A. N.; NACOS, M. K.; PAPPAS, C. S.; TARANTILIS, P. A.; MAVROMOUSTAKOS, T.; POLISSIOU, M. G. Determination of uronic acids in isolated hemicelluloses from kenaf using diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS) and the curve-fitting deconvolution method. **Applied spectroscopy**, v. 58, n. 2, p. 199-202, 2004.

BELTRÁN-HEREDIA, J., SÁNCHEZ-MARTÍN, J., GÓMEZ-MUÑOZ, M.C., New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. **Chemical Engineering Journal**, V. 162, 1019-1025, 2010.

BERNAL, Cláudia; COUTO, Andréa B.; BREVIGLIERI, Susete T.; CAVALHEIRO Éder T. G. Influência de Alguns Parâmetros Experimentais nos Resultados de Análises Calorimétricas Diferenciais – DSC. **Quím. Nova** vol.25 no.5 São Paulo, 2002.

Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000500023 >. Acesso em: 30 abr. 2016.

BOULET, J. C.; WILLIAMS, P.; DOCO, T. A Fourier transform infrared spectroscopy study of wine polysaccharides. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, n. 1, p. 79-85, 2007.
BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRANCO, N. B. C. **Mucilagem do cladódio de *Cereus hildmaniannus* K. Schum: caracterização física, química e reológica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2011.

Brasil. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. 212 p. – Brasília, 2006.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO T. J. A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6.2 127-139. Campina Grande, 2011.

CAI, W.; GU, X.; TANG, J. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. **Carbohydr. Polym.**, v. 71, p. 403–410, 2008.

CAPEK, P.; MATULOVÁ, M.; NAVARINI, L.; SUGGI-LIVERANI, F. Molecular heterogeneity of arabinogalactan-protein from *Coffea arabica* instant coffee. **International journal of biological macromolecules**, v. 59, p. 402-407, 2013.

CAMARGO, A.P. A água no solo para agricultura. **O Agrônomo**. v. 57 (1). p. 10 - 11p. Campinas, 2005.

CESAN – COMPANHIA ESPÍTIRO SANTENSE DE SANEAMENTO. **Apostila Tratamento de Água**. Espírito Santo, 2013. Disponível em: <http://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2013/08/APOSTILA_DE_TRATAMENTO_DE_AGUA-.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2016.

CHHABRA, Priyanka; TYAGI, Priyanka; BHATNAGAR, Assem; MITTAL, Gaurav; KUMAR, Amit. Optimization, characterization, and efficacy evaluation of 2% chitosan scaffold for tissue engineering and wound healing. **Journal of pharmacy & bioallied sciences**, v. 8, n. 4, p. 300, 2016.

CLAYTON, B. **Water pollution at Lowermoor North Cornwall**. Lowermoor Incident Health Advisory Group, 1989. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=FxjjhXMrqk8C&pg=PA13&lpg=PA13&dq=clayton+1989+alzheimer%27s&source=bl&ots=7BLZFh0uXy&sig=gXe7Z0i9C7EEjViulfRd3HvyG0g&hl=pt-BR&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjqqprRqK7NAhXHhJAKHWiLB8IQ6AEIHzAA#v=onepage&q=clayton%201989%20alzheimer's&f=false>>. Acesso em: 25 mai. 2016.

DEDAVID, Berenice A.; GOMES, Carmem I.; MACHADO, Giovanna. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicação e preparação de amostras**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

DENARI, Gabriel B.; CAVALHEIRO, Éder T. G. **Princípios e aplicações de análise térmica**. Material de apoio, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/.../GabrielaBuenoDenari_Revisado_Anexo.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2016.

DE ABREU, Guilherme Júlio Muller; SANTOS, Maria Fátima dos; SOUZA, José Francisco. Uso de polímeros naturais mutamba e cacau como auxiliares de floculação. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18**. 1995.

DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. **ABES** v. 1. Rio de Janeiro, 1993.

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

EHRENFREUND-KLEINMAN, T.; AZZAM, T.; FALK, R.; POLACHECK, I.; GOLENSER J.; DOMB, A.J. Synthesis and characterization of novel water soluble amphotericin B–arabinogalactan conjugates. **Biomaterials**, v. 23, n. 5, p. 1327-1335, 2002.

HASSEMER, M. E. N.; CORAL, L. A.; LAPOLLI, F. R.; AMORIM, M.T.P. Processo UV/H₂O₂ como pós-tratamento para remoção de cor e polimento final em efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 900-9004, 2012.

HEIDEMANN, H. M.; FACCIO, C.; QUADRI, M. G. N. SIMÃO, U.; ZOLDAN, S. R. Caracterização da mucilagem de jaracatiá (*Carica quercifolia* (A. ST.-HIL) Hieron liofilizada para uso em processo de separação. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ)**. Florianópolis – SC, 2014.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

HERBARIO VIRTUAL. ***Aloe arborescens* Mill.** Área de Botânica, Departament de Biologia, Universitat De Les Illes Balears. Disponível em: <<http://herbarivirtual.uib.es/cas-ub/especie/5427.html>>. Acesso em: 03 mai. 2016.

HESPANHOL, I. **Cinética da floculação de suspensões coloidais com polieletrólitos naturais**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1982, 248p.

HU, Changfeng; KONG, Qingjun; YANG, Deyu; PAN, Yuanjiang. Isolation and structural characterization of a novel galactomannan from *Eremurus anisopterus* (Ker. et Kir) Regel roots. **Carbohydrate Polymers**, v. 84, n. 1, p. 402-406, 2011.

HUANG, C.; CHEN, S.; PAN, J.R. Optimal Condition for Modification of Chitosan: A Biopolymer for coagulation of colloidal particles. **Water Research**, v. 34, n.3, p.1057 – 1062, 2000.

JYOTI NEMA, S.K.S., MITRA, N.G. Chemical composition of Aloe ferox under stress of soil pH and desiccation. **International Journal of Chemistry**, v.3, 2013.

KACURÁKOVÁ, M.; CAPEK, P.; SASINKOVÁ, V.; WELLNER, N.; EBRINGENOVÁ, A. FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. **Carbohydrate polymers**, v. 43, n. 2, p. 195-203, 2000.

KAWAMURA, Susumu. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2 ed. Nova York: Editora: John Wiley e Sons, Inc, 2000.

LEITE, Diego de O.; PRADO, Rogério J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 2504. Cuiabá, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n2/v34n2a15.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

LEWINSOHON, T. M.; PRADO, P. I. **Biodiversidade Brasileira: Síntese do Estado Atual do Conhecimento**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/chm/doc/estarte.doc>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

LIMA JUNIOR, F. A.; CONCEIÇÃO; M. A.; RESENDE. J. V.; JUNQUEIRA. L. A.; PEREIRA, C. G.; PRADO, M. E. T. Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from Pereskia aculeata Miller. **Food Hydrocolloid**. v. 33. p. 38 -47. 2013.

LUVIELMO, Márcia de Mello; BORGES, Caroline Dellinghausen; TOYAMA, Daniela de Oliveira; VENDRUSCULO, Claire Tondo; SCAMPARINI, Adilma Regina Pippa. Structure of xanthan gum and cell ultrastructure at different times of alkali stress. **brazilian journal of microbiology**, v. 47, n. 1, p. 102-109, 2016.

MERCÊ, Ana Lucia Ramalho; LANDALUZE, Jon Sanz; MANGRICH, Antonio Sálvio; SZPOGANICZ, Bruno; SIERAKOWSKI, Maria Rita. Complexes of arabinogalactan of Pereskia aculeata and Co^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , and Ni^{2+} . **Bioresource technology**, v. 76, n. 1, p. 29-37, 2001.

MISHRA, A.; YADAV, A.; PAL, S.; SINGH, A. Biodegradable graft copolymers of fenugreek mucilage and polyacrylamide: A renewable reservoir to biomaterials. **Carbohydr. Polym.**, v. 65, p. 58–63, 2006.

NAGATANI, T.; SAITO S. SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra-high-resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. **Scanning Microscopy**. v.11, 901-909, 1987.

NETTO, José M. de A. Cronologia do Tratamento da Água. **DAE**, n. 116. São Paulo, 1968.

PAIVA, Emmanuela P.; LIMA, Marianne S.; PAIXÃO, Jose A. Pectina: Propriedades Químicas e Importância Sobre a Estrutura da Parede Celular de Frutos Durante o Processo de Maturação. **Revista Iberoamericana de Polímero** V. 10, n. 4. Recife, 2009.

PAVIA, D. L.; KRIZ, G. S.; LAMPMAN, G. M. **Introduction to Spectroscopy**. Editora Brooks Cole. 4.ed. 2008.

PENG, Hong; WANG, Na; HU, Zhengrong; YU, Ziping; LIU, Yuhuan; ZHANG, Jinsheng; RUAN, Roger. Physicochemical characterization of hemicelluloses from bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) stem. **Industrial Crops and Products**, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2012.

PEREIRA, D.C., FRASSON, A.P.Z. Uso do Aloe vera em produtos farmacêuticos e análise da estabilidade físico-química de creme aniônico contendo extrato glicólico desta planta. **Revista Contexto & Saúde**, UNIJUÍ, v.6, n.12, p. 27-34, 2007.

PINTO, L. de S. N.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A. **Hidrologia de Superfície**. Editora Edgard Blücher. 2. ed. São Paulo, 1973.

POSÉ, Sara; KIRBY, Andrew R.; MERCADO, José A. MORRIS, Victor J. QUESADA, Miguel A. Structural characterization of cell wall pectin fractions in ripe strawberry fruits using AFM. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 3, p. 882-890, 2012.

QIN, Xiaopeng; LIU, Fei; WANG, Guangcai; HOU, Hong; LI, Fasheng; WENG, Liping. Fractionation of humic acid upon adsorption to goethite: Batch and column studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 269, p. 272-278, 2015.

RAMOS, R. O. **Clarificação de água com turbidez baixa e moderada utilizando sementes de Moringa oleífera**. Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2005.

ROCHA, Júlio C.; ROSA, André H.; CARDOSO, Arnaldo A. **Introdução à Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROSALINO, Melanie R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J., BELTRÁN-HEREDIA, J., SOLERA-HERNÁNDEZ, C. Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials. **Journal of Environmental Management**, V. 91, 2051-2058, 2010.

ŞENGİL, A., ÖZACAR, M. Biosorption of Cu (II) from aqueous solutions by mimosa tannin gel. **Journal of Hazardous Materials**, V. 157, 277-285, 2008.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação espectrofotométrica de compostos orgânicos**. 7ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 2006.

SINGH, Vandana; SINGH, Somit Kumar. Synthesis and characterization of gum acacia inspired silica hybrid xerogels for mercury (II) adsorption. **International journal of biological macromolecules**, v. 48, n. 3, p. 445-451, 2011.

SINGHA, Prajjal K.; ROY, Somenath; DEY, Satyahari. Protective activity of andrographolide and arabinogalactan proteins from *Andrographis paniculata* Nees. against ethanol-induced toxicity in mice. **Journal of ethnopharmacology**, v. 111, n. 1, p. 13-21, 2007.

SINGTHONG, Jittra; NINGSANOND, Suwayd; CUI, Steve W. Extraction and physicochemical characterisation of polysaccharide gum from Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves. **Food Chemistry**, v. 114, n. 4, p. 1301-1307, 2009.

TAJMIR-RIAHI, Heidar-Ali. Infrared spectra of crystalline l-arabinose and two of its calcium complexes. **Carbohydrate research**, v. 127, n. 1, p. 1-8, 1984.

TAVARES, Sandra Aparecida; PEREIRA, Joelma; GUERREIRO, Mário César; PIMENTA, Carlos José; PEREIRA, Lucinéia; MISSAGIA, Simone Velloso. Physical and chemical characteristics of the mucilage of lyophilized yam. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 5, p. 973-979, 2011.

UFRGS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Capítulo 5** – Raios – X. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s03.html>. Acesso em: 21 mai. 2016.

VINOD, V. T. P.; SASHIDHAR R. B.; SURESH, K. I.; RAO, B. R.; SARADHI, U. V. R. V.; RAO, T. P. Morphological, physico-chemical and structural characterization of gum kondagogu (*Cochlospermum gossypium*): A tree gum from India. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 5, p. 899-915, 2008.

YUEN, S. N.; CHOI, S. M.; PHILLIPS, D. L.; MA, C. Y. Raman and FTIR spectroscopy study of carboxymethylated non-starch polysaccharides. **Food Chem.**, v. 114, p. 1091–1098, 2009.

YURTSEVER, M., ŞENGİL, A. Biosorption of Pb (II) ions by modified quebracho tannin resin. **Journal of Hazardous Materials**, V. 163, 58-64, 2009.