

CONFERIDO
PROC. N.º 01/15286/10
RUB. 0001
PRPG 01/01/12

ERRATAS

Eu, Gabriela Kurokawa e Silva, ex-aluna do curso de Mestrado em Engenharia Civil, informo que deverão ser consideradas as seguintes erratas nas páginas a seguir:

Páginas rosto e i

Onde se lê: 2011

Leia-se: 2012

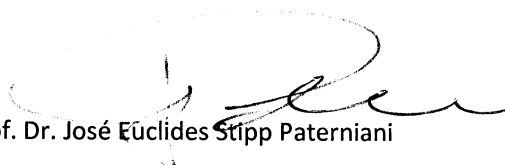
Páginas ii e capa

Onde se lê: Gabriela Kurokawa Silva

Leia-se: Gabriela Kurokawa e Silva

Sem mais.


Gabriela Kurokawa e Silva


Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani
Orientador


Profa. Dra. Maria Cecília A. T. da Silva
Coordenadora de Pós-graduação
FEC / UNICAMP - Matrícula 069477
UNICAMP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

**MÉTODO ALTERNATIVO PARA APLICAÇÃO DO
COAGULANTE NATURAL *Moringa oleifera* NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

GABRIELA KUROKAWA E SILVA

CAMPINAS

FEVEREIRO 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

GABRIELA KUROKAWA E SILVA

MÉTODO ALTERNATIVO PARA APLICAÇÃO DO COAGULANTE
NATURAL *Moringa oleifera* NO TRATAMENTO DE ÁGUA

*Dissertação de Mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Civil, na área de concentração
em Saneamento e Ambiente.*

Orientador: PROF. DR. JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI

CAMPINAS

FEVEREIRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Si38m	Silva, Gabriela Kurokawa Método alternativo para aplicação do coagulante natural moringa oleifera no tratamento de água / Gabriela Kurokawa e Silva. --Campinas, SP: [s.n.], 2012. Orientador: José Euclides Stipp Paterniani. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 1. Moringa oleifera. 2. Coagulação. 3. Saneamento rural. 4. Floculação. I. Paterniani, José Euclides Stipp. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.
-------	--

Título em Inglês: Alternative method for the application of natural coagulant moringa in water treatment

Palavras-chave em Inglês: Moringa oleifera, Coagulation, Rural sanitation, Flocculation

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Rosangela Bergamasco, Ricardo de Lima Isaac

Data da defesa: 03-02-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**MÉTODO ALTERNATIVO PARA APLICAÇÃO DO COAGULANTE
NATURAL *Moringa oleifera* NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Gabriela Kurokawa e Silva

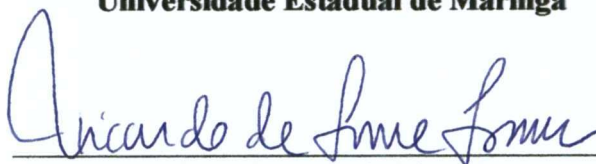
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani
Presidente e Orientador/FEC - UNICAMP**



**Prof. Dr. Rosângela Bergamasco
Universidade Estadual de Maringá**



**Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
FEC - UNICAMP**

Campinas, 03 de fevereiro de 2012.

Aos meus pais Carlos e Neide, à minha irmã
Indira, aos meus tios Naoe e Renato e aos meus
primos Fábio e Ilka, que sempre estiveram
presentes e foram fundamentais para eu chegar até
onde cheguei hoje.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Paterniani pelo apoio e por ter me acompanhado desde a graduação, acreditando no meu potencial.

Aos professores Ricardo Isaac, Rosangela Bergamasco e Denis Miguel Roston pelas sugestões dadas para meu trabalho.

À Faculdade de Engenharia Civil e à Faculdade de Engenharia Agrícola por terem viabilizado o desenvolvimento do meu mestrado.

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

Agradeço às amigas Adriana e Camila pelas eternas correções e grande ajuda em todo esse trabalho e nesses anos juntas.

Ao Maycon por ter me acompanhado bem de perto, por ter sido muito companheiro nesse tempo, pelo apoio nos momentos mais difíceis e também pelas broncas.

Aos amigos da FEAGRI que me acompanharam nesse caminho: Henrique, Monalisa, Flávia, Samuel, Dany, Márcio, Fábio, Rhuanito, Natalia, Ivo, Cajuru, Allan, Dani, Léo, Marcelo, Giovanni e Túlio. Em especial ao Henrique e o Márcio, que me deram muita força quando as coisas não estavam andando.

Aos amigos da FEC: Cristal, Iza, Danila, Jorge e Noely.

Aos técnicos do laboratório que me ajudaram bastante durante meus ensaios:
Giovanni, Túlio, Gelson e Rosa.

À Ana Moreno, que nos 6 meses que passou em intercâmbio na FEAGRI ajudou bastante no começo do meu trabalho.

RESUMO

O acesso à água com padrões de qualidade adequados ao consumo humano tem sido tema de muitos estudos que visam desenvolver novas tecnologias ou aprimorar tecnologias já existentes para possibilitar o uso dessa água para abastecimento público. Como muitas tecnologias dependem de elevados investimentos e mão-de-obra qualificada, uma alternativa mais acessível para população de pequenas comunidades ou com menor poder aquisitivo é a utilização de coagulantes naturais. Um deles é o coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera*. Alguns pesquisadores verificaram que a proteína presente nas sementes é responsável pelo processo de coagulação e que o material excedente das mesmas pode comprometer o tratamento de água. O presente trabalho visou desenvolver nova tecnologia de aplicação desse coagulante. Foi desenvolvido um sachê contendo o pó das sementes de *Moringa oleifera* que libera a proteína responsável pelo efeito coagulante das sementes. Após a determinação do material para confecção dos sachês, foram testadas 3 massas de pó adicionadas ao interior dos sachês (0,6 g, 0,8 g e 1,0 g) em ensaios para clarificação de água com turbidez sintética, sendo feita a comparação do desempenho dos sachês com o coagulante líquido. Utilizando-se equipamento Jar-Test, os ensaios consistiram na dissolução da proteína dos sachês na água com turbidez sintética, incluindo as operações unitárias de coagulação e floculação em alguns ensaios e em outros não e, por fim, foi feita a sedimentação por 60 minutos. Nos ensaios de clarificação com coagulação e floculação, as dosagens de 0,8 g e 1,0 g obtiveram eficiências de clarificação bastante próximas do coagulante líquido. Nos ensaios com coagulação e floculação, observou-se eficiência de redução de turbidez dos sachês variando de 85,5% a 97,4%, respectivamente para 0,6 g e 1,0 g, sendo que o coagulante líquido apresentou eficiência

de 97,9%. Já quando não houve a realização dessas etapas, 50,6%, 89,92% e 94,8%, respectivamente. Com relação à cor aparente, essas eficiências foram 88,7%, 97,8% e 99,0% quando houve coagulação e floculação e 56,1%, 91,3% e 96,3% quando não houve. Concluiu-se que quando houve a realização da coagulação e sedimentação as amostras ficaram mais homogêneas, além de resultarem maiores valores de eficiência de redução de turbidez e cor aparente. Assim, conclui-se que a utilização dos sachês é um processo eficiente quando comparado com a aplicação do coagulante de *Moringa oleifera* na forma de solução.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*, Coagulação, Saneamento Rural, Floculação

ABSTRACT

The access to water with good quality to human consumption has been the subject of many studies which the main goal is the development of new technologies or the improvement of the existing structures used to provide water to public supply. As many technologies depends on high investments and qualified labor, the most accessible alternative to small communities or people with less purchasing is to use natural coagulants. One of them is the seed-based coagulant of *Moringa oleifera*. Some researches find that the protein on the seeds is the responsible by the coagulation and that the surplus material of them may compromise the water treatment. This objective of this paperwork presents a new technology of application of this coagulant. It was developed a sachet with *Moringa oleifera* powder seeds that releases the protein responsible for the coagulant effects of seeds. After determining the material to manufacture the sachets, 3 different levels of powder in the sachets (0,6 g, 0,8 g and 1,0 g) were tested for water clarification with synthetic turbidity, subsequently the comparison of the performance of the sachets with the liquid coagulant. Using an equipment Jar-Test, the tests consisted in the dissolution of the protein of the sachets on water with synthetic turbidity, including the unit operations of coagulation and flocculation on some tests and not in the others, finally it was made the sedimentation for 60 minutes. In the tests of clarification with the coagulation and flocculation steps, the dosages 0,8 g and 1,0 g obtained efficient results in clarification similar with the liquid coagulant. In the tests with coagulation and flocculation, we can see the efficiency of turbidity reduction of the sachets ranging from 85,5% to 97,4%, respectively to 0,6 g to 1,0 g, and considering that the liquid coagulant showed 97,9% of efficient. About the apparent color, this efficiencies were 88,7%, 97,8% and 90,0% when there was

coagulation and flocculation, and 56,1%, 91,3% and 96,3% when there wasn't. The final results found show us that when the coagulation and flocculation were used, the samples were more homogenous and presented improved values of efficiency of turbidity and apparent color reduction. Thus, it was concluded that the use of sachets is a process efficient compared with the application of *Moringa oleifera* coagulant as a solution.

Key-words: *Moringa oleifera*, Coagulation, Rural Sanitation, Flocculation

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Distribuição do tamanho das partículas presentes na água (adaptado de CEPIS, 1973).	3
Figura 02: Configuração esquemática da dupla camada elétrica (LIBÂNIO, 2008)	6
Figura 03: Fluxograma da metodologia da 1ª fase	19
Figura 04: Etapas de obtenção do pó das sementes de <i>Moringa oleifera</i> sendo: (a) Vagem da <i>Moringa oleifera</i> , (b) Sementes ainda com casca, (c) Sementes já descascadas e (d) Moagem das sementes em processador manual.....	21
Figura 06: Modelo para dobra do papel filtro.....	26
Figura 07: Posicionamento dos sachês nos jarros do Jar-Test.....	27
Figura 08: Equipamento Jar-Test durante o ensaio de determinação do material para confecção dos sachês (da esquerda para direita: aplicação direta do pó, não-tecido, manta preta, manta cinza, filtro de papel comercial para café e manta branca).	28
Figura 09: Esquema das repetições dos ensaios	32
Figura 10: Representação da condução dos ensaios sem as etapas de coagulação e floculação ...	34
Figura 11: Representação da condução dos ensaios com as etapas de coagulação e floculação ..	36
Figura 12: Turbidez ao longo de 24 h decorrente da liberação de sólidos pelos diferentes sachês.	39

Figura 13: Comportamento da liberação de proteína pelos diferentes sachês ao longo de 24 horas.	40
Figura 14: Comportamento da turbidez do coagulante líquido ao longo da sedimentação.....	48
Figura 16: Comportamento da turbidez do sachê de 0,8 g ao longo da sedimentação.....	50
Figura 17: Comportamento da turbidez do sachê de 1,0 g ao longo da sedimentação.....	51
Figura 18: Comportamento da cor aparente do coagulante líquido ao longo da sedimentação	55
Figura 19: Comportamento da cor aparente do sachê de 0,6 g ao longo da sedimentação	56
Figura 20: Comportamento da cor aparente do sachê de 0,8 g ao longo da sedimentação	57
Figura 21: Comportamento da cor aparente do sachê de 1,0 g ao longo da sedimentação	58
Figura 22: Comportamento da turbidez do coagulante líquido ao longo da sedimentação.....	64
Figura 23: Comportamento da turbidez do sachê de 0,6 g ao longo da sedimentação.....	65
Figura 24: Comportamento da turbidez do sachê de 0,8 g ao longo da sedimentação.....	66
Figura 25: Comportamento da turbidez do sachê de 1,0 g ao longo da sedimentação.....	67
Figura 26: Comportamento da cor aparente do coagulante líquido ao longo da sedimentação	71
Figura 27: Comportamento da cor aparente do sachê de 0,6 g ao longo da sedimentação	72
Figura 28: Comportamento da cor aparente do sachê de 0,8 g ao longo da sedimentação	73
Figura 29: Comportamento da cor aparente do sachê de 1,0 g ao longo da sedimentação	74

Figura 30: Curva de correlação entre absorbância e teor de proteína	93
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Materiais testados para confecção dos sachês e suas características (*)	24
Tabela 02: Condições de dissolução de proteína nos ensaios sem coagulação/floculação e siglas	32
Tabela 03: Valores médios de Turbidez (NTU) para as diversas aplicações do pó da <i>Moringa oleifera</i> em água destilada no decorrer de 24 h e resultado do Teste de Scott-Knott (*).....	41
Tabela 04: Valores médios de Teor de Proteína (mg.L^{-1}) para as diversas aplicações do pó da <i>Moringa oleifera</i> em água destilada no decorrer de 24 h e resultado do Teste de Scott-Knott (*).....	42
Tabela 05: Valores médios de turbidez das condições de dissolução da proteína ao longo da sedimentação e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância (*).....	47
Tabela 06: Valores médios de cor aparente das condições de dissolução de proteína na sedimentação e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância	53
Tabela 07: Valores médios de teor de proteína das condições de dissolução de proteína e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância	60
Tabela 08: Valores médios de turbidez das condições de dissolução da proteína ao longo da sedimentação e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância (*).....	62
Tabela 09: Valores médios de cor aparente das condições de dissolução de proteína na sedimentação e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância	69

Tabela 10: Valores médios de teor de proteína das condições de dissolução de proteína e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância	76
Tabela 11: Valores iniciais e finais e eficiência de redução de turbidez (NTU)	78
Tabela 12: Valores iniciais e finais e eficiência de redução de cor aparente	80
Tabela 13: Condições com melhor eficiência.....	82
Tabela 14: Resultados do ensaio de caracterização dos materiais para confecção dos sachês.	95

SUMARIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiv
1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Etapas de tratamento da água.....	3
2.1.1 Gradiente de velocidade	4
2.1.2 Partículas coloidais	6
2.1.3 Coagulação	7
2.1.3.1 Compressão da dupla camada elétrica.....	8
2.1.3.2 Adsorção e neutralização de carga	8
2.1.3.3 Varredura	9
2.1.3.4 Adsorção e formação de pontes.....	9

2.1.4	Floculação.....	10
2.1.5	Sedimentação (ou decantação)	11
2.2	Tipos de coagulante	12
2.3	<i>Moringa oleifera</i>	13
3	OBJETIVOS.....	17
3.1	Objetivo geral	17
3.2	Objetivo específico	17
4	METODOLOGIA	18
4.1	1ª Fase – Escolha do material para confecção dos sachês e determinação da massa de pó de <i>Moringa oleifera</i> necessária para os ensaios de clarificação	19
4.1.1	Obtenção do pó de <i>Moringa oleifera</i>	20
4.1.2	Preparo do coagulante líquido	22
4.1.3	Quantificação do teor de proteína no coagulante líquido	23
4.1.4	Escolha do material para confecção dos sachês com base na dissolução da proteína em água destilada	23
4.1.5	Determinação da massa de pó necessária nos sachês para a obtenção de teor de proteína equivalente ao do coagulante líquido	29
4.2	2ª Fase – Ensaios de clarificação	29

4.2.1	Produção de água com turbidez sintética	29
4.2.2	Ensaio para clarificação de água com turbidez sintética.....	30
4.2.2.1	Ensaio sem etapa de coagulação/floculação	33
4.2.2.2	Ensaio com etapa de coagulação/floculação	35
4.3	Análise dos dados	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	1ª Fase – Escolha do material para confecção dos sachês e determinação da massa de pó de <i>Moringa oleifera</i> necessária para os ensaios de clarificação	38
5.1.1	Quantificação do teor de proteína no coagulante líquido	38
5.1.2	Escolha do material para confecção dos sachês	39
5.1.3	Determinação da massa de pó necessária nos sachês para a obtenção de teor de proteína equivalente ao do coagulante líquido.....	44
5.2	2ª Fase – Ensaio de clarificação	45
5.2.1	Ensaio para clarificação de água com turbidez sintética.....	45
5.2.1.1	Ensaio sem etapa de coagulação/floculação	45
5.2.1.1.1	Avaliação da Turbidez.....	46
5.2.1.1.2	Avaliação da Cor Aparente.....	52
5.2.1.1.3	Avaliação do Teor de Proteína	59

5.2.1.2	Ensaios com etapa de coagulação/floculação	61
5.2.1.2.1	Avaliação da Turbidez.....	61
5.2.1.2.2	Avaliação da Cor Aparente.....	68
5.2.1.2.3	Avaliação da Proteína.....	75
5.2.2	Comparação de eficiência entre os ensaios com e sem as etapas de coagulação e floculação	77
5.2.2.1	Turbidez.....	77
5.2.2.2	Cor aparente.....	79
	Turbidez	82
	Cor aparente	82
5.3	Considerações finais	83
6	CONCLUSÕES.....	84
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	APÊNDICE A	92
	APÊNDICE B.....	94

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O acesso à água com padrão de qualidade adequado para o consumo humano é questão de muitas pesquisas. Isso porque, para que haja manutenção da saúde de uma população, é de fundamental importância o consumo de água livre de contaminantes. Assim, temas como qualidade e reutilização da água são cada vez mais discutidos e estudados, uma vez que a água é um elemento essencial para a vida.

Diversos estudos já foram e estão sendo conduzidos para melhorar a qualidade da água e, assim, possibilitar o seu uso, seja para o abastecimento público, seja para utilização na agricultura.

Muitas das técnicas desenvolvidas são caras e sofisticadas, não sendo acessíveis a uma parcela da população que compõe pequenas comunidades com menor poder aquisitivo. Tendo em vista essa questão, alternativas mais simples de tratamento, mas não menos eficientes, também vêm sendo estudadas.

Uma opção para melhoria da eficiência dos sistemas de tratamento físico é a utilização de coagulantes que auxiliam na formação de aglomerados que são mais facilmente removidos no processo de sedimentação ou filtração. No entanto, coagulantes sintéticos podem apresentar elevado valor financeiro, além de poderem deixar resíduos não desejados na água tratada, dependendo das condições do meio. Por essa razão, o uso de coagulantes de origem vegetal torna-se uma boa opção para a clarificação de águas turvas.

Uma opção de coagulante natural já bastante estudado é o coagulante produzido à base do pó das sementes de *Moringa oleifera*. No entanto, em pesquisas anteriores,

notou-se que apenas uma parcela desse material age efetivamente no tratamento de água, na clarificação de águas turvas.

Utilizando o coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliar da filtração, Arantes (2010) sugere que, apesar do comprovado potencial, tal tecnologia deve ser aprimorada a fim de reduzir a carga de sólidos da solução coagulante para que se tenha carreiras de filtração mais longas.

Considerando-se a recomendação de Arantes (2010) e que não é todo o material da semente da *Moringa oleifera* que age como coagulante, o presente trabalho tem como hipótese que o confinamento do pó de sementes de *Moringa oleifera* dentro dos sachês propicia menor adição de carga orgânica no meio, sendo um método mais prático e fácil e economizando mais água no seu preparo (quando comparado com o coagulante líquido), porém permitindo a disponibilização de material protéico para a realização de coagulação e floculação no tratamento de água. Desta forma o objetivo deste estudo é desenvolver um novo método para a aplicação da solução coagulante, reduzindo a adição de possíveis resíduos não interessantes à água a ser tratada. Dessa forma, quando a solução coagulante for adicionada em um sistema real de tratamento de água, as carreiras de filtração serão maiores, não havendo entupimento com resíduo de sementes de *Moringa oleifera*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Etapas de tratamento da água

A água, por ter propriedade de solvente e por ser capaz de arrastar partículas, acaba por incorporar diversas frações que alteram seu grau de pureza (VON SPERLING, 1996). As impurezas presentes na água, segundo Pavanelli (2001), são: sólidos dissolvidos em forma ionizada, gases dissolvidos, compostos orgânicos dissolvidos e matéria em suspensão. Dessas partículas, segundo CEPIS (1973), tem-se a distribuição da divisão por tamanho, como mostrado na Figura 01.

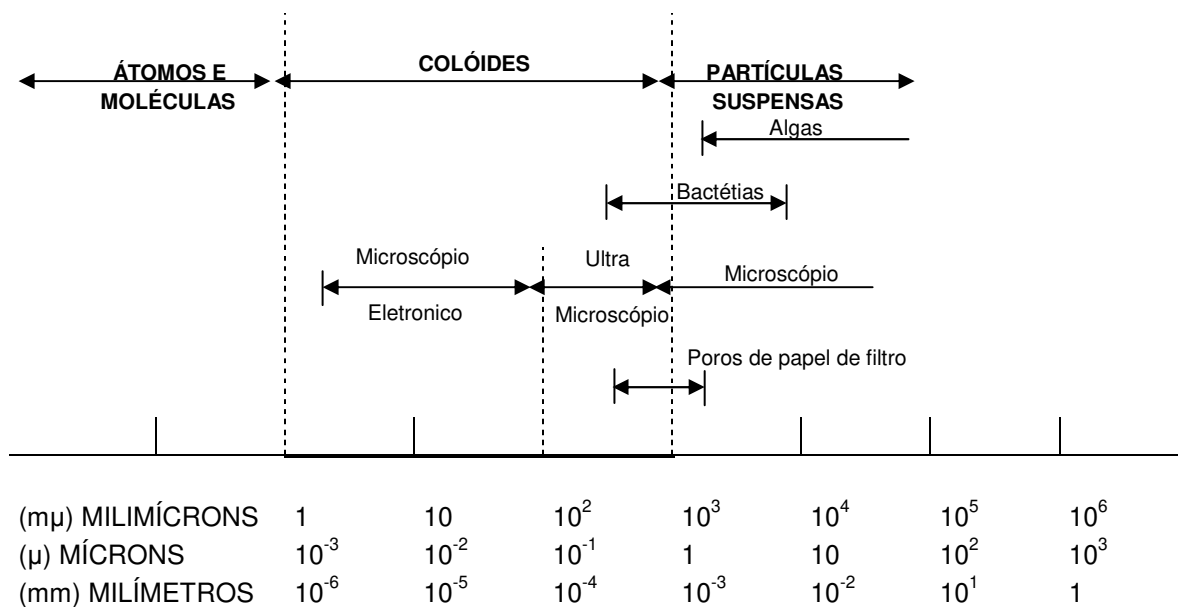


Figura 01: Distribuição do tamanho das partículas presentes na água

(adaptado de CEPIS, 1973).

A purificação da água pode ser dividida em processos. Dentre eles, os principais, segundo Richter & Azevedo Netto (1991), aeração, sedimentação ou decantação, coagulação, filtração, tratamento por contato, correção da dureza, desinfecção, sabor e odor e controle da corrosão.

Esses processos de tratamento apresentam essa divisão principalmente para se entender os mecanismos que agem nesse processo. No entanto, na prática, todos eles estão correlacionados, são contínuos.

Para o presente trabalho, serão investigadas as etapas de coagulação, floculação e sedimentação. Nas duas primeiras etapas, o gradiente de velocidade e o tempo de mistura são fatores de grande importância para se obter boa eficiência no processo como um todo.

2.1.1 Gradiente de velocidade

Tanto na coagulação quanto na floculação, faz-se necessária a ação de um agente físico. Esse agente é a agitação da água, mistura essa que pode ser mais ou menos intensa, sendo denominada, respectivamente, mistura rápida ou mistura lenta (ou, simplesmente, floculação) (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991). Ainda segundo os autores, esse conceito de gradiente de velocidade teve origem nas primeiras teorias sobre a conjunção de partículas, devidas a von Smoluchowski (1917), que demonstrou que a taxa de colisão entre as partículas é resultado do movimento do fluido e, portanto, controlável.

“O gradiente de velocidade de uma agitação é proporcional à potência dissipada pela viscosidade da água. Sendo assim, existe uma forte relação entre a microescala de turbulência (subfaixa de dissipação viscosa) e o gradiente de velocidade de uma agitação. Com o aumento da agitação e o aumento da energia dissipada por ela, a microescala de turbulência diminui, aumentando o gradiente de velocidade médio desta agitação.” (VOLTAN, 2007).

Esse gradiente de velocidade pode ser obtido através de mistura rápida hidráulica (através de ressaltos hidráulicos, câmaras em chicanas com fluxo vertical ou horizontal, calhas Parshall) ou mistura rápida mecânica (através de agitadores tipo turbina de fluxo axial ou radial) (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

Para mistura rápida, a NBR 12216, que trata de projetos de estação de tratamento de água para abastecimento público, o gradiente médio deve estar entre 700 e 1100 s^{-1} , por 5 s. Mas também essa faixa pode estar entre 200 e 400 s^{-1} , por 20 a 30 s (MASSCHELEIN, 2003 *apud* LIBÂNIO, 2008).

Já para mistura lenta, na ausência de ensaios, a NBR 12216 aponta tempo de detenção para unidades de floculação mecanizadas de 30 a 40 minutos e gradiente de velocidade de 10 a 70 s^{-1} .

2.1.2 Partículas coloidais

Em um sistema bifásico (sólido-líquido) no qual existe uma grande concentração de partículas coloidais, umas se aproximam das outras e/ou chocam-se entre si devido ao movimento contínuo e desordenado dessas mesmas partículas (movimento browniano), permitindo uma interação entre as camadas difusas (Figura 02), fazendo com que ocorra atração devido à força de van der Waals e repulsão devido à força eletrostática ou da dupla camada elétrica (PAVANELLI, 2001).

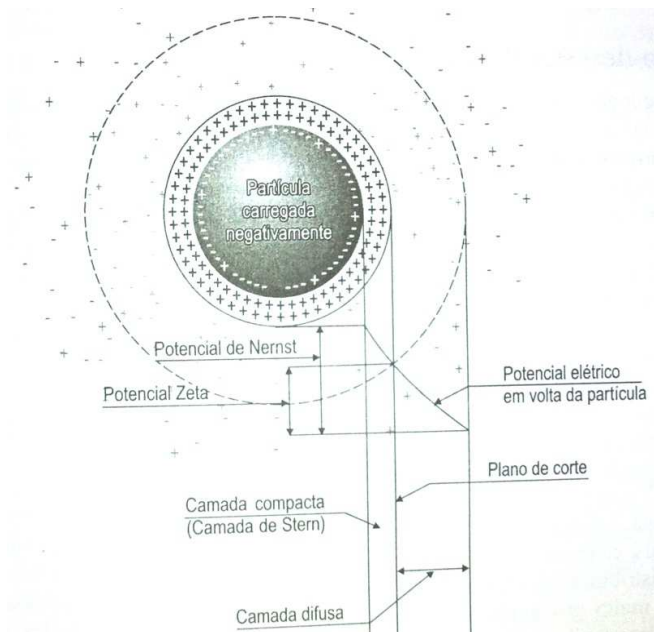


Figura 02: Configuração esquemática da dupla camada elétrica (LIBÂNIO, 2008)

2.1.3 Coagulação

A coagulação é um processo que desestabiliza partículas coloidais (tamanhos variando de 10^{-6} mm a 10^{-3} mm) em um sistema aquoso, facilitando a remoção dessas partículas em etapas subsequentes de tratamento.

“A coagulação, geralmente realizada com sais de alumínio e ferro, resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva. O segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água” (DI BERNARDO, 2005).

As partículas coloidais presentes na água a ser tratada possuem carga negativa na sua superfície, impedindo a aproximação dessas em condições naturais (DI BERNARDO, 2005). Ainda segundo o autor, para que haja agregação dessas partículas, é preciso que sejam alteradas algumas características da água e das impurezas presentes no meio de coagulação, floculação e sedimentação. Assim, a introdução de um coagulante catiônico promove a agregação dessas partículas devido à diferença de cargas.

Em sistemas de tratamento com etapa de coagulação química, o desempenho da tecnologia de tratamento adotada depende essencialmente da etapa de coagulação. Caso ela seja ineficiente, resultará na retenção deficiente nos meios granulares no caso de filtração direta (DI BERNARDO, 2005). O autor aponta 4 mecanismos que resultam na coagulação: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização, varredura, e adsorção e formação de pontes.

2.1.3.1 Compressão da dupla camada elétrica

O primeiro mecanismo de coagulação consiste na compressão da dupla camada. A introdução de um eletrólito diferente num sistema coloidal irá causar um aumento da densidade de cargas na camada difusa e diminuir a “esfera” de influência das partículas (DI BERNARDO, 2005).

Os íons de carga positiva atravessam a camada compacta, reduzindo a magnitude do potencial zeta e a espessura da dupla camada, permitindo posterior aproximação das partículas (LIBÂNIO, 2008).

2.1.3.2 Adsorção e neutralização de carga

Esse mecanismo ocorre imediatamente depois da dispersão do coagulante na massa líquida (LIBÂNIO, 2008). É provável que as interações coagulante-solvente sejam responsáveis pela adsorção do coagulante na interface colóide-água. No caso de espécies hidrolisadas de alumínio e de ferro ou de polímeros sintéticos catiônicos, é comum ocorrer a adsorção específica, causada pela interação entre coagulante e colóide (DI BERNARDO, 2005).

2.1.3.3 Varredura

Segundo Di Bernardo (2005), o mecanismo de varredura é intensivamente utilizado nas estações de tratamento em que se tem a floculação e sedimentação antecedendo a filtração, pois os flocos resultantes são de maior tamanho e apresentam velocidades de sedimentação relativamente altas se comparados aos flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização.

2.1.3.4 Adsorção e formação de pontes

Com o objetivo de reduzir as dosagens do coagulante e conferir ao floco maior densidade, são empregados polímeros orgânicos naturais ou sintéticos usualmente como auxiliares de floculação. No emprego dos polímeros, a coagulação pode efetuar-se por intermédio da formação de pontes químicas, quando as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das diversas cadeias dos polímeros. Para tal finalidade, a molécula do polímero deve ser longa o suficiente para minimizar o efeito repulsivo da dupla camada quando da aproximação de mais de uma partícula e permitir a adsorção em sua superfície (LIBÂNIO, 2008).

2.1.4 Floculação

A floculação é uma das operações unitárias da clarificação que se constitui em um conjunto de fenômenos físicos, nos quais se tenciona, em última instância, reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida (LIBÂNIO, 2008). Ainda segundo os autores, a floculação pode ser pericinéctica (quando o movimento das partículas se dá através do movimento browniano) ou ortocinéctica (quando o movimento se dá por gradiente de velocidade gerado por floculação hidráulica ou floculação mecânica) (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

Segundo Di Bernardo (1993), trata-se de um conjunto de fenômenos físicos, que resultam do processo de contínua e suave agitação, durante o qual, partículas suspensas na água se agregam de forma que elas possam ser removidas da água em processos subsequentes do tratamento, particularmente por sedimentação.

“O gradiente de velocidade e o tempo de detenção, aliados aos intervenientes no processo de coagulação, constituem-se nos principais fatores da eficiência da floculação, uma vez que tais parâmetros governam a densidade e o tamanho dos flocos formados.” (RAMOS, 2005).

2.1.5 Sedimentação (ou decantação)

Segundo Richter & Azevedo Netto (1991), o processo de sedimentação é um dos mais comuns no tratamento de água por remoção de partículas sólidas em suspensão. Esse processo consiste na utilização da força gravitacional para separar partículas de densidade superior a da água. Partículas de pequeno tamanho ou de densidade muito próximas a da água não são removidas nessa etapa, passando para a etapa de filtração.

Esse processo pode ser dividido, segundo Libânio (2008), em sedimentação de partículas discretas e sedimentação de partículas floculentas:

Sedimentação de partículas discretas: durante tal processo, as partículas mantêm sua individualidade na trajetória descendente mesmo se porventura se chocarem. Nessa vertente, sobre um corpo imerso em um fluido agirão, em primeira instância, duas forças (a força da gravidade que o impelirá no sentido descendente e a força do empuxo, que agirá no sentido ascendente) (LIBÂNIO, 2008).

Sedimentação de partículas floculentas: trata-se do fenômeno mais completo para descrever a sedimentação, considerando que a velocidade de sedimentação das partículas não é constante, aumentando com o tempo devido ao aumento do tamanho das partículas (CEPIS, 1973).

2.2 Tipos de coagulante

O coagulante mais amplamente utilizado atualmente é produzido à base de alumínio. No entanto, vem sendo bastante discutido os efeitos colaterais da inserção de alumínio no organismo humano. Uma das hipóteses é que o alumínio possa vir a propiciar o desenvolvimento da doença de Alzheimer após um período prolongado de ingestão. A partir de trabalho de revisão de Ferreira *et al.* (2008), foi feito levantamento de 34 trabalhos, dos quais 68% estabeleceram relação entre o alumínio e a doença de Alzheimer, sendo que os autores concluíram que o alumínio interfere em alguns processos neurofisiológicos responsáveis pela degeneração da doença de Alzheimer. Dentre esses trabalhos, um que contraria essa conclusão é o estudo de caso feito por Martyn *et al.* (1997) na região da Inglaterra e País de Gales, que conclui que o risco da doença de Alzheimer a partir de alumínio de água potável (concentrações abaixo de 0,2 mg por litro) é muito pequeno.

Segundo a Portaria 518 do Ministério da Saúde (2004), o limite máximo permitido para água de consumo humano do elemento alumínio é 0,2 mg/L.

Visando a redução do consumo de coagulantes à base de alumínio, alguns trabalhos têm indicado a viabilidade do uso de coagulantes e/ou auxiliares de coagulação naturais, constituídos à base de polissacarídeos, proteínas e, principalmente, os amidos, dentre os quais tem se destacado: farinha de mandioca, araruta e fécula de batata, melhorando a eficiência de processos físicos de remoção de sólidos suspensos da água (DI BERNARDO, 2005).

O uso de coagulantes naturais de origem vegetal para clarificação de águas turvas e coloridas, quando possível, é de grande significação ecológica e ambiental, considerando que a presença das plantas sempre contribui com a ecologia, o

embelezamento e a melhoria do ambiente, tornando o meio mais agradável e ainda produzindo oxigênio molecular, indispensável à respiração dos seres vivos (BORBA, 2001).

Ainda segundo Borba (2001), os problemas dos coagulantes naturais para uso em sistema comunitário consistem na dificuldade de sua obtenção em qualidade e quantidade suficientes para operar um sistema de abastecimento de água desse porte. Além disso, podem conferir à água também algumas inconveniências, tais como: a) o aumento da matéria orgânica na água, que pode fermentar anaerobicamente, produzindo gases mal cheirosos; b) apenas a clarificação não elimina os microrganismos patogênicos presentes na água *in natura*.

Em diferentes países, plantas nativas estão sendo utilizadas para a obtenção de coagulantes naturais. Particularmente, a espécie *Moringa oleifera* destaca-se como uma das mais promissoras fontes de coagulante natural com o objetivo de eliminar as partículas presentes na água.

2.3 *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* é uma espécie perene, da família Moringácea, originária do nordeste indiano, amplamente distribuída na Índia, Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Paquistão, Singapura e Nigéria (PIO CORRÊA, 1984). Tal planta foi introduzida no Brasil no início do século XIX como planta ornamental, porém seu uso como coagulante só teve início em 1996, com a vinda de Dra Samia Al Azharia Jahn,

que em visita ao nordeste brasileiro orientou um “workshop” em Pernambuco e fez palestras em diferentes lugares do país divulgando tal planta (GERDES, 1996 *apud* BORBA, 2001).

A *Moringa oleifera* é um polímero natural que vem ganhando destaque no tratamento de água, pois atua como agente clarificante pela presença de uma proteína catiônica hidrossolúvel que desestabiliza as partículas contidas na água em meio líquido (NDABIGENGESERE et al., 1995; CARDOSO et al., 2008). Além disso, *Moringa oleifera* não é tóxica e é biodegradável, não afetando o pH nem a condutividade do meio após o tratamento (NDABIGENGESERE et al., 1995).

Possuindo como composto predominante a proteína, cerca de 40%, segundo Gallão (2006), as sementes de moringa são bastante utilizadas na clarificação de águas turvas em diversas regiões carentes do planeta, como no Sudão, outros países da África, no Nordeste brasileiro, entre outros (BORBA, 2001).

A capacidade da *Moringa oleifera* de coagular e flocular colóides em águas naturais que apresentam cor e turbidez se atribui a uma proteína floculante, isolada pelos pesquisadores Gassenschmidt U, Jany KD, Tanscher B, Niebergall H, na Alemanha, em 1995, a qual tem massa molecular da ordem de 150.000 unidades (BORBA, 2001).

Algumas são as formas de se utilizar os coagulantes à base de *Moringa oleifera*. Dentre elas, a convencional é preparar uma suspensão, misturando o pó das sementes à água destilada e misturando em equipamento mixer (Suleyman *et al.*, 1994), ou misturando em liquidificador (Katayon *et al.*, 2006).

Porém, outras metodologias de obtenção desse coagulante à base de *Moringa oleifera* vêm sendo desenvolvidas. Segundo Madrona *et al* (2010), a extração desse componente protéico feita em solução salina 1M apresenta melhor eficiência que quando feita em água. Nesse estudo, as diferentes concentrações de solução coagulante foram obtidas utilizando-se 3 diferentes concentrações de soluções salinas (0,01, 0,1 e 1 M) e também água pura combinada com sementes de *Moringa oleifera*.

Pritchard *et al.* (2010), além do método convencional de dosar o coagulante, testaram uma forma alternativa de realizar essa dosagem. Confinaram o pó das sementes de *Moringa oleifera* em sachês feitos de musselina. No entanto, com base nos resultados obtidos, os autores dizem que é necessário que seja feita uma otimização desse método.

Estudo comparativo entre a eficiência do coagulante de semente de *Moringa oleifera* e coagulante à base de alumínio foi desenvolvido, concluindo-se que os dois coagulantes obtiveram o mesmo desempenho (AMAGLOH *et al.*, 2009). Esse trabalho foi conduzido com 5 diferentes dosagens de coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera* sendo comparadas com coagulante de sulfato de alumínio. Os autores concluíram nesse estudo que nas dosagens de 10 g/L e nas maiores do coagulante à base de *Moringa oleifera* tem-se efeito coagulante similar ao do coagulante à base de alumínio. Ainda acrescentam a vantagem de a *Moringa oleifera* ter propriedades antimicrobianas além da solução coagulante, podendo ser produzida no próprio local de utilização, reduzindo o custo do tratamento da água.

Pritchard *et al.* (2010) também conduziram estudos comparativos do coagulante à base de *Moringa oleifera* com coagulantes sintéticos, à base de alumínio e ferro. Concluíram que em algumas das condições testadas os coagulantes sintéticos superaram o coagulante natural, além de requererem menores dosagens para atingirem um ótimo de redução. No entanto, quando empregada a filtração em filtros de areia após a coagulação com *Moringa oleifera*, verificaram redução de turbidez e bactérias.

Outros trabalhos que confirmaram a ação antibactericida da *Moringa oleifera*. Dentre eles, tem-se os trabalhos de Francisco *et al.* (2010) e Arantes *et al.* (2010), nos quais foi observada a redução de *E.coli* com a utilização do coagulante à base de *Moringa oleifera*. Ferreira *et al.* (2011) conduziram trabalho no qual verificaram que as proteínas coagulantes da *Moringa oleifera* apresentaram capacidade de redução das populações de *E. coli*, *Bacillus thuriensis* e *Pseudomonas aeruginosa*.

Uma das limitações ao uso da solução de *Moringa oleifera* na redução da turbidez na água é o fato do seu potencial decrescer com o decorrer do tempo de

armazenamento das sementes, tanto para armazenamento refrigerado (3°C) quanto para armazenamento à temperatura ambiente (28°C) (KATAYON *et al.*, 2006).

Outra limitação à utilização do coagulante à base de *Moringa oleifera* é a adição de matéria orgânica no meio, o que pode vir a reduzir carreiras de filtração, como verificado por Franco (2010), que fez a aplicação do coagulante à base de *Moringa oleifera* num sistema de filtração em múltiplas etapas (FiME).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma tecnologia simples e prática de aplicação da solução do coagulante de *Moringa oleifera* no sistema de tratamento de água.

3.2 Objetivo específico

- i. Estudar o material para a confecção dos sachês no sistema de tratamento;
- ii. Avaliar o desempenho do sistema de tratamento com a utilização de sachês contendo sementes de *Moringa oleifera* trituradas;
- iii. Verificar a influência do teor de proteína contido nas sementes de *Moringa oleifera* na redução de cor aparente e turbidez no sistema de sachês;
- iv. Comparar o sistema de tratamento com sachês com o sistema utilizando o coagulante na forma de solução aquosa.

4 METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação e no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP).

Inicialmente foram conduzidos ensaios preliminares para a determinação do material que seria utilizado na confecção dos sachês. Esses testes foram feitos avaliando-se a capacidade de liberação da proteína para o meio e a de retenção de material sólido através dos sachês em água destilada.

Tendo sido determinado o material a ser produzido o sachê, foram feitos cálculos que permitiram equivaler o teor de proteína da solução aquosa de coagulante com o teor de proteína liberada por determinada massa do sachê. Isso foi feito visando-se posterior teste comparativo entre as duas técnicas de aplicação do coagulante (coagulante líquido e sachê) para clarificação de água com turbidez sintética. Também foi feita uma estimativa de custo para a produção dos sachês.

4.1 1ª Fase – Escolha do material para confecção dos sachês e determinação da massa de pó de *Moringa oleifera* necessária para os ensaios de clarificação

As etapas que foram realizadas nessa 1ª fase, que foram os ensaios preliminares para desenvolvimento da metodologia da 2ª fase, podem ser observadas no esquema mostrado na Figura 03.

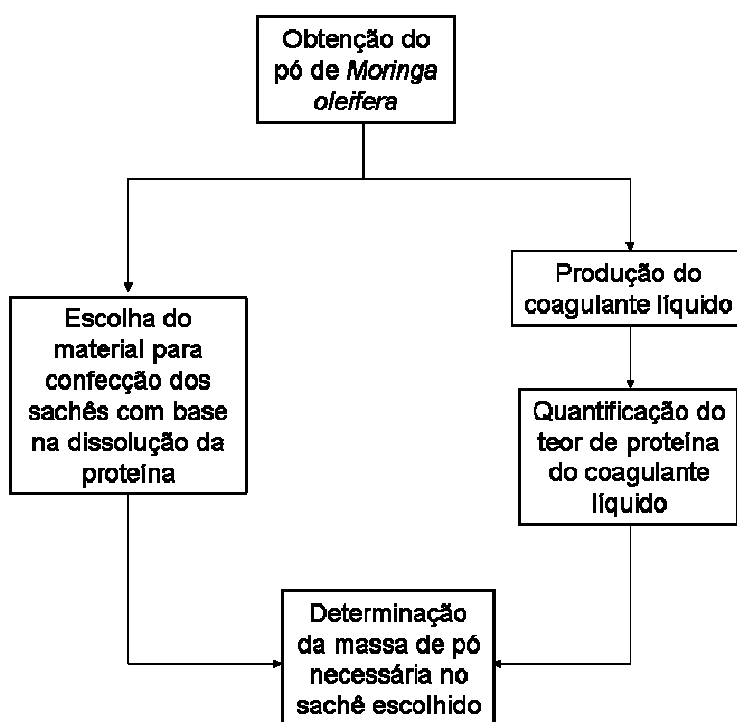


Figura 03: Fluxograma da metodologia da 1ª fase

4.1.1 Obtenção do pó de *Moringa oleifera*

As sementes de *Moringa oleifera* utilizadas nos ensaios das 1ª e 2ª fases foram obtidas de árvores que estão plantadas no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, localizada na cidade de Campinas, SP. Além disso, foi cuidado para que todos os ensaios fossem realizados com um mesmo lote de sementes para que não houvesse possibilidade de variações entre os lotes causassem alterações nos resultados dos ensaios.

O pó da semente da *Moringa oleifera* foi obtido a partir dos seguintes procedimentos:

- i. Colheita da vagem da *Moringa oleifera* - Figura 04 (a);
- ii. Retirada das sementes das vagens - Figura 04 (b);
- iii. Secagem das sementes em estufa a 65°C por 24 horas;
- iv. Resfriamento das sementes em dessecador por cerca de 1 hora;
- v. Armazenamento das sementes dentro de sacos plásticos, em estufa incubadora, climatizada com controle de temperatura e umidade;
- vi. Retirada da casca das sementes no momento do uso - Figura 04 (c);
- vii. Moagem das sementes em processador manual - Figura 04 (d);



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 04: Etapas de obtenção do pó das sementes de *Moringa oleifera* sendo: (a) Vagem da *Moringa oleifera*, (b) Sementes ainda com casca, (c) Sementes já descascadas e (d) Moagem das sementes em processador manual

O pó das sementes de *Moringa oleifera* foi utilizado tanto para a produção dos sachês quanto para a produção do coagulante líquido.

4.1.2 Preparo do coagulante líquido

O preparo do coagulante líquido procedeu-se a partir de metodologia adaptada de Ramos (2005), como descrita por Arantes (2010). Segundo o segundo autor, para uma turbidez inicial de 50 NTU, a melhor dosagem do coagulante aquoso em concentração de 2% (2 g de pó em 100 mL de água) é de 10 mL.L⁻¹. Para a obtenção do coagulante líquido nessas condições, seguiram-se as seguintes etapas:

- Pesaram-se 2 g de pó das sementes de *Moringa oleifera* peneiradas em peneira de abertura 0,84 mm;
- Adicionou-se essa massa de pó a 100 mL de água deionizada;
- Efetuou-se a homogeneização do pó em água em agitador magnético por 3 minutos;
- A suspensão resultante foi passada por peneira de abertura 0,125 mm.
- O filtrado resultante dessa operação foi utilizado como coagulante líquido.

4.1.3 Quantificação do teor de proteína no coagulante líquido

A quantificação do teor de proteína no coagulante líquido, foi feita por meio de espectrofotometria, com equipamento HACH DR/4000U, através do método modificado de Lowry *et al.* (1951), como descrito por Madrona (2010). Para essa análise através de espectrofotometria, foi necessário traçar uma curva de correlação entre valores de absorbância e teor de proteína, como mostrado no Apêndice A. Também nesse item está descrita metodologia utilizada para tal determinação.

4.1.4 Escolha do material para confecção dos sachês com base na dissolução da proteína em água destilada

O material utilizado para a confecção dos sachês foi escolhido a partir de 5 diferentes materiais, ponderando-se os fatores: praticidade de confecção dos sachês e teor de proteína considerável aliado a baixa concentração de sólidos.

Os materiais escolhidos, bem como suas características, estão apresentados na Tabela 01. Tais características foram determinadas através de procedimento descrito no Apêndice B.

Tabela 01: Materiais testados para confecção dos sachês e suas características (*)

Material	Espessura (cm)	Gramatura (g/m ²)
Não-tecido costurado	-	41,90
Filtro de papel pequeno 100 para café Mellita®	-	54,10
Manta sintética não-tecida branca	0,33	431,30
Manta sintética não-tecida cinza	0,36	576,95
Manta sintética não-tecida preta	0,24	319,10

(*) Os valores que não constam na tabela não puderam ser determinados por serem dimensões muito pequenas.

Cuidou-se para que todos os sachês, independentemente do material utilizado, tivessem área “útil” superficial semelhante. Para as mantas sintéticas não-tecidas preta, cinza e branca, foram cortados retângulos dos materiais, os quais foram dobrados ao meio, formando aproximadamente um quadrado. Esse teve suas laterais fechadas com cola quente de silicone. Após a adição do pó das sementes de *Moringa oleifera*, os sachês foram fechados amarrando-se um fio de Nylon[®], como mostrado nas Figuras 05 (a), (b) e (c), respectivamente, resultando nos sachês prontos para os ensaios.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 05: Sachês utilizados: (a) manta preta, (b) manta cinza, (c) manta branca, (d) não-tecido, (e) filtro de papel comercial para café.

O não-tecido costurado já veio pronto, com dimensões de 8x4 cm². Seu fechamento também foi feito com a utilização de uma linha de Nylon[®], resultando num sachê como mostrado na Figura 6 (d).

Já o filtro de papel comercial para café *Mellita*[®] foi dobrado conforme as marcações da Figura 06. A vedação foi feita com cola quente de silicone, a fim de que não houvesse escape do pó por nenhuma das dobras. O sachê já com o pó das sementes de *Moringa oleifera* fica como mostrado na Figura 05 (e).

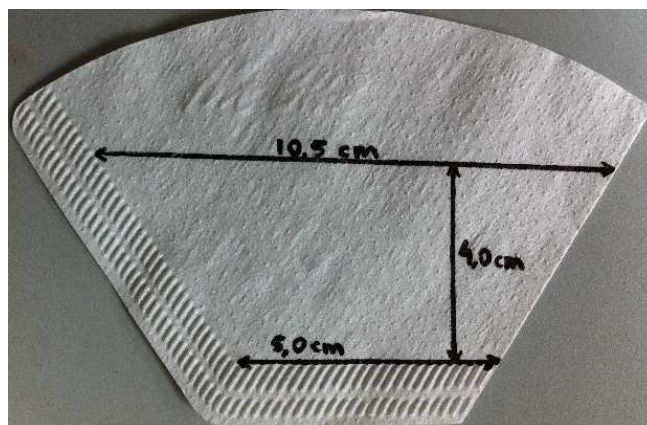


Figura 06: Modelo para dobra do papel filtro.

Todos os sachês foram presos em régua de acrílico para que ficassem na mesma posição nos jarros do equipamento Jar-Test, centralizados em uma das paredes laterais dos jarros e no fundo dos mesmos, como mostrado na Figura 07.

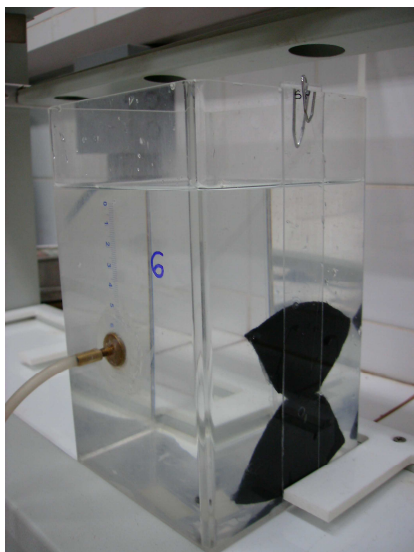


Figura 07: Posicionamento dos sachês nos jarros do Jar-Test.

A quantificação dos sólidos liberados foi feita de forma indireta, a partir da turbidez das amostras, com a utilização de turbidímetro digital HACH 2100AN. Já a quantificação da proteína foi feita através de espectrofotometria, com equipamento HACH DR/4000U, com o método modificado de Lowry *et al.* (1951), como descrito por Madrona (2010) e no Apêndice A.

Foram conduzidos ensaios em equipamento Jar-Test, com a utilização de água deionizada, para que não houvesse interferência nos resultados de elementos que pudessem estar presentes na água vinda diretamente da rede de abastecimento.

Adicionaram-se 2 L de água destilada por jarro do equipamento. No primeiro jarro foram adicionados 2 g de pó das sementes diretamente na água, sob a hipótese de representar a situação mais crítica de teores de sólidos e de proteína. Em cada um dos

outros 5 jarros foi posicionado 1 dos 5 tipos de sachê. Em cada um dos sachês foram adicionados 2 g de pó da semente de *Moringa oleifera*.

O equipamento Jar-Test durante a condução desse ensaio para a determinação do material o qual o sachê seria produzido está representado na Figura 08.

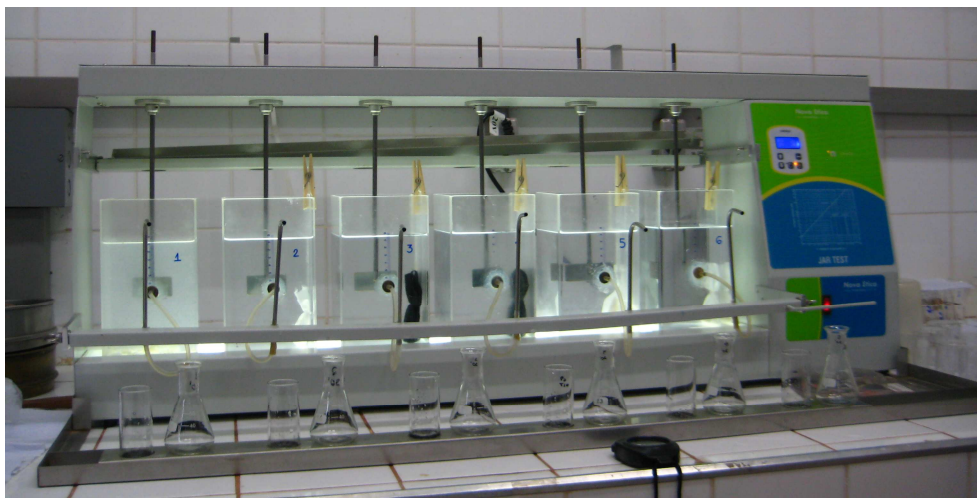


Figura 08: Equipamento Jar-Test durante o ensaio de determinação do material para confecção dos sachês (da esquerda para direita: aplicação direta do pó, não-tecido, manta preta, manta cinza, filtro de papel comercial para café e manta branca).

Os ensaios foram realizados no decorrer de 24 horas. Retiraram-se amostras nos instantes: 0, 1, 5, 30, 60, 120, 240, 1200 e 1440 minutos. Em todo o período, o Jar-Test foi mantido com agitação lenta, com gradiente de velocidade de aproximadamente 10 s^{-1} , visando manter a homogeneidade do meio. Esse tempo de contato entre os sachês e a água, com agitação lenta, foi chamado de tempo de dispersão ou dissolução da proteína.

4.1.5 Determinação da massa de pó necessária nos sachês para a obtenção de teor de proteína equivalente ao do coagulante líquido

A partir dos resultados de quantificação do teor de proteína do coagulante líquido (item 5.1) e dos resultados de dissolução da proteína em água destilada (item 5.2), determinou-se qual a massa de pó das sementes de *Moringa oleifera* forneceria a quantidade de proteína equivalente ao coagulante líquido. O teor de proteína do coagulante líquido também foi determinado através do método de Lowry.

Para isso, primeiramente determinou-se qual o tempo de dissolução da proteína que seria adotado para os ensaios de clarificação. Assim, soube-se a quantidade de proteína que havia sido liberada pelo sachê do material escolhido no determinado tempo de dissolução. Através desses dados, foi possível correlacionar a massa de pó das sementes com o teor de proteína, obtendo-se qual a massa que seria adotada nos sachês na etapa seguinte, de clarificação de águas com turbidez sintética.

4.2 2ª Fase – Ensaios de clarificação

4.2.1 Produção de água com turbidez sintética

Para os ensaios foi produzida água com turbidez sintética, obtida a partir de água destilada e bentonita, de forma que a turbidez inicial seja de aproximadamente de 60

NTU. A metodologia de preparo da água segue a proposta por Mendes (1989), adaptada por Arantes (2010).

Para o preparo dessa água, foi utilizado equipamento Jar-Test. Em cada um dos jarros foram adicionados 2 L de água destilada e 0,4 g de bentonita. Esses compostos foram deixados em agitação com gradiente de velocidade de aproximadamente 400 s^{-1} , por 30 minutos. Terminado esse tempo, a solução de água com bentonita foi colocada em um balde, no qual permaneceu em repouso por 24 h.

Transcorrido esse período, foi retirado cuidadosamente o sobrenadante do recipiente, atentando-se para que houvesse a menor turbulência possível da solução, para que não ocorresse a incorporação do material sedimentado.

Esse sobrenadante transferido para outro recipiente foi a água com turbidez sintética que foi utilizada nos ensaios seguintes.

4.2.2 Ensaios para clarificação de água com turbidez sintética

Para a observação do comportamento de clarificação de água com turbidez sintética, foram feitas as seguintes variações:

- 3 dosagens de coagulante, a partir de 3 massas diferentes de pó das sementes nos sachês (0,6 g, 0,8 g e 1,0 g);
- 2 gradientes de velocidade durante o processo de dissolução da proteína (10 s^{-1} e de 20 s^{-1});

- 3 tempos de dissolução da proteína dos sachês no meio (20, 30 e 40 min);
- Realizar ou não as operações unitárias de coagulação e floculação, com as misturas rápida e lenta.

Como durante a dissolução da proteína presente nos sachês a água é submetida à mistura lenta por um determinado período, ocorre formação de flocos. Desta forma optou-se por efetuar ensaios de sedimentação direta após a dispersão e também ensaios com coagulação e floculação entre as etapas de dispersão e sedimentação, para verificar em qual destas condições seria mais favorável o uso dos sachês.

As massas adotadas para as diferentes dosagens foram baseadas em resultados obtidos em estudos preliminares (item 5.2), nos quais foi encontrado que a massa de pó não peneirado de *Moringa oleifera* necessária no sachê para que este atingisse dosagem similar ao coagulante líquido deveria apresentar um valor em torno de 0,8 g.

Para esses ensaios, foram colocados 2 L de água de turbidez sintética em cada um dos 6 jarros do equipamento Jar-Test. Para realizar triplicatas com os sachês e duplicatas com o coagulante líquido, foi necessário dividir cada combinação de tempo e gradiente de velocidade de dispersão em duas bateladas, conforme representado no esquema da Figura 09.

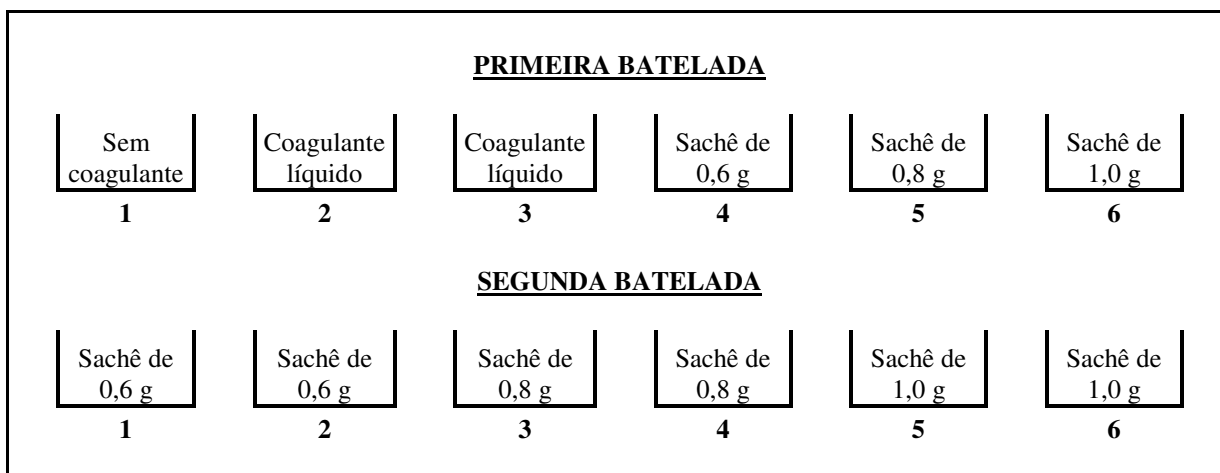


Figura 09: Esquema das repetições dos ensaios

As combinações de tempo e gradiente de velocidade na dispersão da proteína foram associadas a siglas, conforme mostrado na Tabela 02. Para todas essas condições, efetuaram-se ensaios com sachês de 0,6; 0,8 e 1,0 g e com o coagulante líquido.

Tabela 02: Condições de dissolução de proteína nos ensaios sem coagulação/floculação e siglas

Condição de dissolução	Gradiente de velocidade (s ⁻¹)	Tempo de dissolução (minutos)
C1	10	30
C2	20	
C3	10	35
C4	20	
C5	10	40
C6	20	

Durante o tempo de dissolução da proteína no meio, foi observado o comportamento das diferentes dosagens de *Moringa oleifera*, observando-se se houve ou não a formação de flocos nos jarros.

A seguir serão descritos mais detalhadamente os procedimentos dos ensaios nos quais houve ou não as etapas de coagulação e floculação.

4.2.2.1 Ensaios sem etapa de coagulação/floculação

Nessa fase, foram conduzidos ensaios nos quais não foram realizadas as etapas de coagulação e floculação. A Figura 10 mostra esquematicamente como foram conduzidos esses ensaios nos quais não houve a realização das operações unitárias de coagulação e floculação.

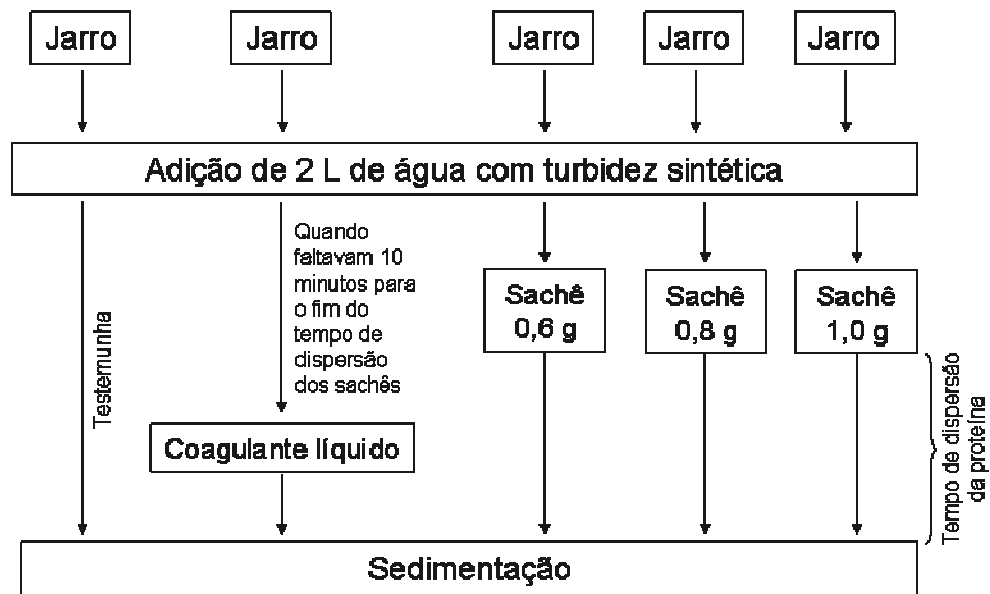


Figura 10: Representação da condução dos ensaios sem as etapas de coagulação e floculação

O coagulante líquido foi adicionado ao jarro que havia sido reservado a esse tratamento quando faltavam 10 minutos para terminar o tempo de dissolução da proteína dos sachês, mantendo-se a agitação lenta, visando haver homogeneização do coagulante líquido no meio.

Finalizado esse “tempo de dissolução”, o equipamento Jar-Test foi desligado, iniciando-se a etapa de sedimentação, a qual foi realizada por 60 minutos. Nesse intervalo, foram coletadas amostras nos tempos 0 (imediatamente quando o equipamento foi desligado), 5, 15, 30, 45 e 60 minutos.

Dessas amostras coletadas, foram analisados os seguintes parâmetros: cor aparente, turbidez e pH. A turbidez foi determinada através da utilização de turbidímetro

digital HACH 2100AN. Os parâmetros cor aparente e pH foram avaliados através dos equipamentos espectrofotômetro HACH DR/2010 e pHmetro DM20 Digimed, respectivamente. Também foi determinada a concentração de proteína, quantificada através do método modificado de Lowry *et al.* (1951), como descrito por Madrona (2010). Porém, essa última foi determinada apenas para as amostras do tempo 0, com o objetivo de se ter um referencial quanto ao teor de proteína que pudesse ser correlacionado com a dosagem.

4.2.2.2 Ensaios com etapa de coagulação/floculação

Nessa fase, foram conduzidos ensaios nos quais foram realizadas as etapas de coagulação e floculação. A Figura 11 mostra esquematicamente como foram conduzidos esses ensaios nos quais houve a realização das operações unitárias de coagulação e floculação.

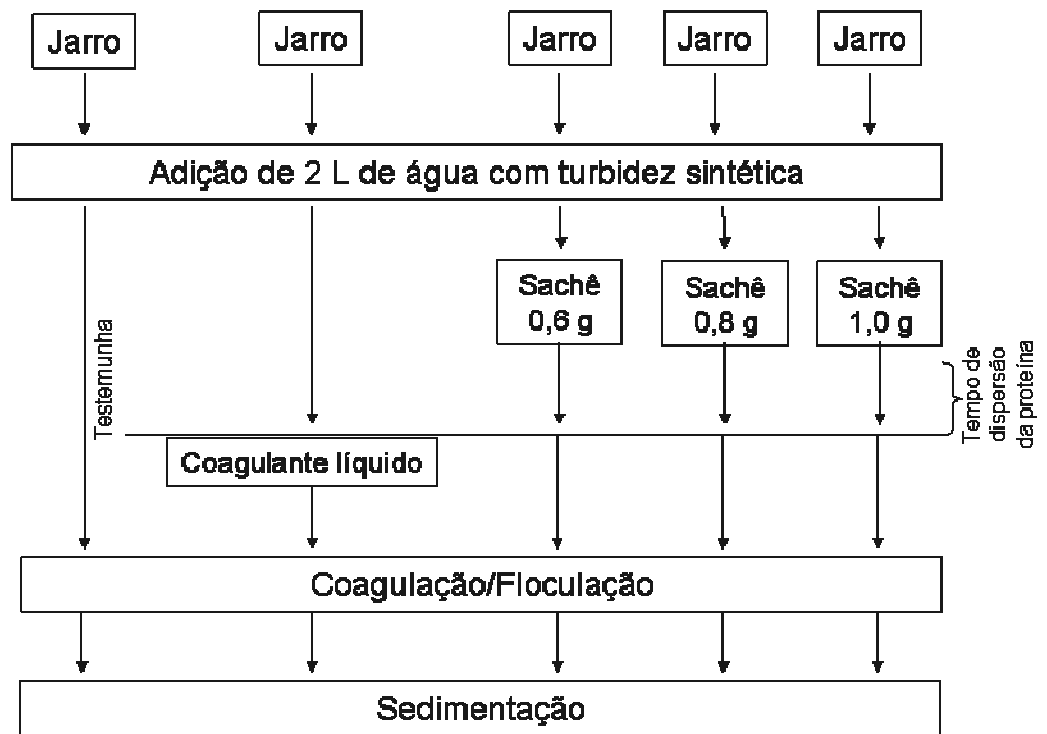


Figura 11: Representação da condução dos ensaios com as etapas de coagulação e floculação

O coagulante líquido foi adicionado ao jarro que havia sido reservado a esse tratamento assim que terminou o tempo de dissolução da proteína dos sachês. Imediatamente depois dessa adição, fez-se uma mistura rápida (gradiente de velocidade de 400 s^{-1}) por 30 segundos e uma mistura lenta (gradiente de velocidade de 20 s^{-1}) por 10 minutos.

Finalizado esses passos, o equipamento Jar-Test foi desligado, iniciando-se a etapa de sedimentação, a qual foi realizada por 60 minutos. Nesse intervalo, foram coletadas amostras nos tempos 0 (imediatamente quando o equipamento foi desligado), 5, 15, 30, 45 e 60 minutos.

Foram analisados os mesmos parâmetros verificados nos ensaios do item 4.2.2.1.

Com base nesses resultados, foi possível comparar, a partir de uma água de mesma turbidez inicial para cada um dos tratamentos, qual deles apresentou melhor eficiência de clarificação. Além disso, foi possível fazer uma comparação com o método já conhecido e comprovadamente eficiente na redução de turbidez, que é a utilização do coagulante líquido.

4.3 Análise dos dados

Os dados obtidos nesse trabalho foram analisados através de estatística descritiva e teste de comparações múltiplas (Teste de Scott-Knott), utilizando-se os programas computacionais Microsoft Office Excel 2003® e Sisvar (versão 5.3). Foram utilizados gráficos e tabelas para a demonstração de tais resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados a seguir, na sequência em que foram conduzidos e descritos no item 4.

5.1 1ª Fase – Escolha do material para confecção dos sachês e determinação da massa de pó de *Moringa oleifera* necessária para os ensaios de clarificação

5.1.1 Quantificação do teor de proteína no coagulante líquido

Para a solução de coagulante em concentração a 2% preparada como descrito no item 4.2, verificou-se um teor médio de proteína de 2133 mg L⁻¹. Portanto, para 10 mL de solução coagulante, tem-se cerca de 21,33 mg de proteína.

5.1.2 Escolha do material para confecção dos sachês

Como resultados do comportamento observado, obtiveram-se os gráficos apresentados nas Figuras 12 e 13, respectivamente da turbidez e do teor de proteína ao longo do tempo. Como foi utilizada água destilada como meio para condução desses ensaios, a turbidez e o teor de proteína descritos a seguir são provenientes do pó das sementes de *Moringa oleifera*.

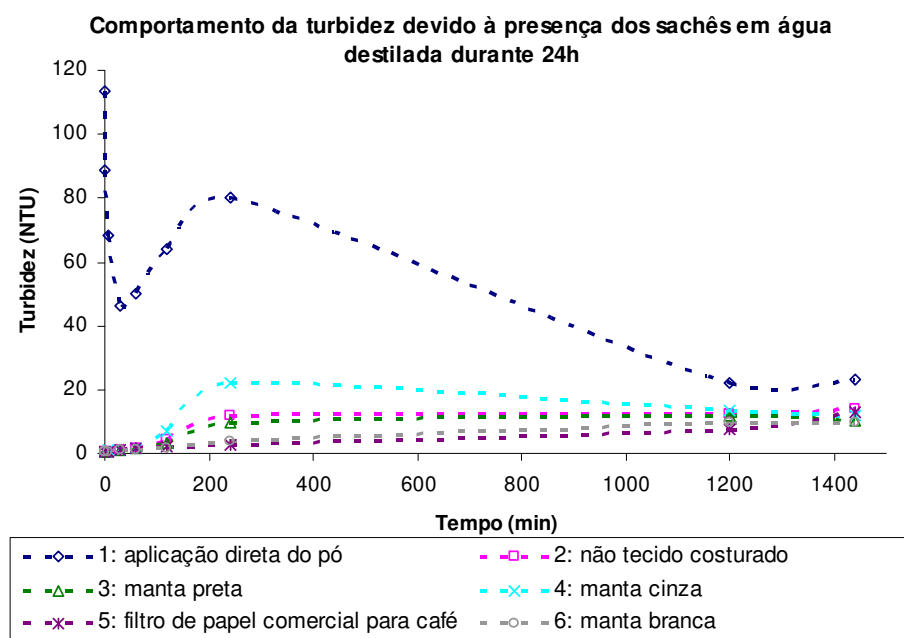


Figura 12: Turbidez ao longo de 24 h decorrente da liberação de sólidos pelos diferentes sachês.

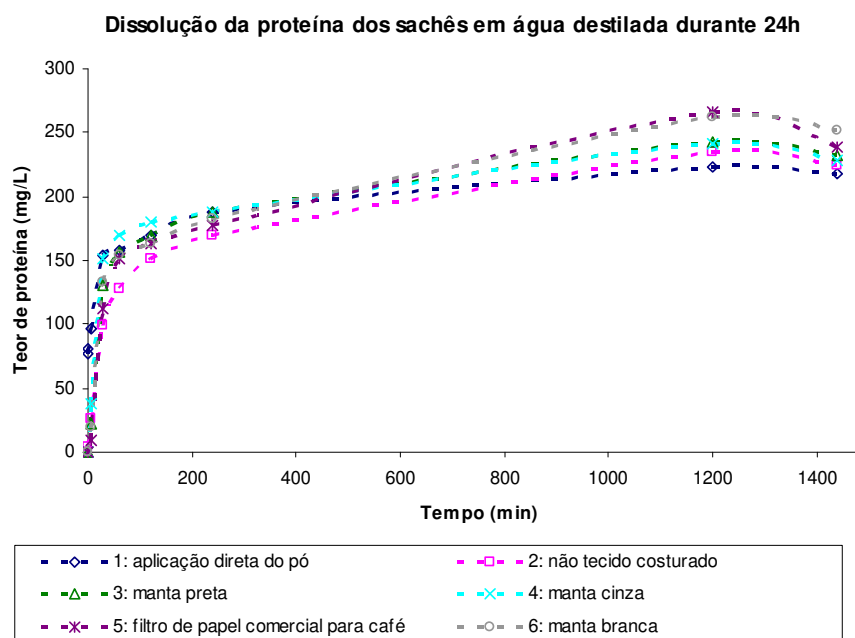


Figura 13: Comportamento da liberação de proteína pelos diferentes sachês ao longo de 24 horas.

Os valores médios dos resultados observados para turbidez e teor de proteína no decorrer das 24 horas estão apresentados nas Tabelas 03 e 04. Nelas também estão apresentados os resultados decorrentes do Teste de Scott-Knott, com 5% de significância, comparando os sachês entre eles e também comparando os tempos dentro de cada sachê.

A partir dos valores apresentados na Tabela 03, observa-se que, decorridas as 24 horas de ensaio, os 5 tipos de sachês apresentaram valores de turbidez estatisticamente iguais (A), diferindo do caso no qual houve a aplicação direta do pó de *Moringa oleifera* na água destilada (B).

Tabela 03: Valores médios de Turbidez (NTU) para as diversas aplicações do pó da *Moringa oleifera* em água destilada no decorrer de 24 h e resultado do Teste de Scott-Knott (*)

Tipo de sachê	Tempo (min)									
	0	1	5	30	60	120	240	1200	1440	
Aplicação direta do pó	113,80 c B	88,73 b B	68,30 b B	46,10 a B	49,87 a B	64,27 b B	80,37 b C	22,27 a B	23,33 a B	
Não-tecido costurado	0,50 a A	0,60 a A	0,58 a A	1,22 a A	1,71 a A	4,27 b A	11,87 c A	12,21 c A	13,97 c A	
Manta preta	0,56 a A	0,56 a A	0,64 a A	0,94 a A	1,35 a A	3,40 a A	9,89 b A	12,10 b A	9,97 b A	
Manta cinza	0,47 a A	0,43 a A	0,85 a A	1,25 a A	1,84 a A	7,05 a A	22,22 c B	13,37 b A	11,80 b A	
Filtro de papel comercial para café	0,40 a A	0,42 a A	0,54 a A	1,14 a A	1,74 a A	2,17 a A	2,71 a A	7,65 b A	12,79 c A	
Manta branca	0,47 a A	0,53 a A	0,60 a A	1,11 a A	1,29 a A	1,63 a A	3,65 b A	9,81 c A	9,83 c A	

(*) As letras minúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em linha. As letras maiúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em coluna.

Tabela 04: Valores médios de Teor de Proteína (mg.L⁻¹) para as diversas aplicações do pó da *Moringa oleifera* em água destilada no decorrer de 24 h e resultado do Teste de Scott-Knott (*)

Tipo de sachê	Tempo (min)									
	0	1	5	30	60	120	240	1200	1440	
Aplicação direta do pó	80,25 a B	77,39 a B	97,07 a B	153,42 b C	158,02 b A	169,61 b A	187,71 c A	223,10 d A	217,39 d A	
Não-tecido costurado	0,00 a A	3,98 a A	26,67 b A	99,77 c A	127,71 d A	151,52 e A	169,93 e A	235,17 f A	223,74 f A	
Manta preta	0,00 a A	0,00 a A	22,79 a A	130,25 b B	156,44 c A	169,61 c A	188,34 c A	243,10 d A	231,67 d A	
Manta cinza	0,00 a A	0,00 a A	38,02 b A	151,67 c C	168,98 d A	180,56 e A	187,55 e A	241,52 f A	228,82 f A	
Filtro de papel comercial para café	0,00 a A	0,00 a A	9,45 a A	112,15 b A	150,88 c A	163,58 c A	177,87 c A	266,28 e A	238,98 d A	
Manta branca	0,00 a A	0,00 a A	19,29 a A	133,58 b B	153,58 b A	162,79 c A	182,31 c A	262,79 d A	251,67 d A	

(*) As letras minúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em linha. As letras maiúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em coluna.

É possível observar-se também que, quando utilizado o sachê confeccionado com filtro de papel comercial para café, há uma variação significativa do valor de turbidez apenas a partir do tempo 20 horas, sendo que nos outros sachês essa variação ocorre antes (tempo 120 minutos para o não-tecido costurado e tempo 240 minutos para os sachês de mantas branca, preta e cinza).

Com relação ao teor de proteína, nota-se que a partir do tempo 60 minutos até o final das 24 horas de ensaio, os 5 tipos de sachê apresentam-se estatisticamente iguais à aplicação direta do pó na água destilada.

Como não foram feitas coletas de amostras no intervalo entre 30 e 60 minutos, toma-se o tempo 30 minutos como sendo o menor tempo em que há diferença entre os tipos de sachê. Além disso, considerando-se que posteriormente esses resultados serão utilizados para dimensionamento de um sistema de tratamento de água de bancada e que esse sistema contará com o emprego do JarTest nas etapas de coagulação e floculação, considerou-se que 30 minutos para a dispersão da proteína no meio seria um tempo razoável para ser adotado.

Através da quantificação do teor de proteína presente no coagulante à base de *Moringa oleifera* na forma de solução aquosa, concluiu-se que o sachê que será utilizado precisa liberar aproximadamente 21,33 mg de proteína para cada litro de água a ser tratada. Como pode ser observado nos valores médios apresentados na Tabela 04, conclui-se que todos os sachês com 2 g de pó de sementes de *Moringa oleifera* atendem a essa exigência, já que todos eles fornecem quantidade de proteína maior que a necessária até o tempo 30 minutos.

Considerando-se que o sachê confeccionado com filtro de papel comercial para café demora mais a apresentar aumento de turbidez ao longo das 24h e apresenta valor de teor de proteína superior ao mínimo necessário para equivaler ao coagulante líquido após 30 minutos de dispersão, avaliando-se também a sua praticidade de confecção e disponibilidade, foi escolhido esse material para conduzir a próxima etapa do trabalho, de clarificação de água com turbidez sintética.

5.1.3 Determinação da massa de pó necessária nos sachês para a obtenção de teor de proteína equivalente ao do coagulante líquido

Sendo o volume de cada um dos jarros 2 L, seriam necessários 20 mL de solução coagulante e, assim, ter-se-iam 42,66 mg de proteína por jarro. Dessa forma, conclui-se que cada sachê deve ter o equivalente à concentração de 42,66 mg de proteína.

Analisando-se o comportamento da dissolução da proteína mostrado no item 5.1.2, nota-se que houve um maior aumento em 30 minutos de dispersão, sendo que não ocorreu aumento significativo até completar as 24 h de ensaio. Portanto, foi tomado como base para o cálculo da massa de pó a ser colocado em cada sachê o teor de proteína liberado em 30 minutos de dispersão.

Sabendo-se que o teor de proteína médio do sachê de 2 g produzido com filtro de papel comercial para café no tempo 30 minutos de dispersão é de 112,15 mg.L⁻¹ e admitindo-se que a relação entre teor de proteína e massa de pó são diretamente proporcionais, tem-se que a massa de cada sachê deve ser de aproximadamente 0,76 g de pó para cada um dos jarros.

Visando a aproximação para esse valor, para os ensaios seguintes foram adotadas as massas de pó de *Moringa oleifera* de 0,6 g, 0,8 g e 1,0 g para a confecção dos sachês.

5.2 2ª Fase – Ensaio de clarificação

5.2.1 Ensaio para clarificação de água com turbidez sintética

Os resultados dessa etapa do trabalho estão divididos nos ensaios sem a realização da coagulação e da floculação e nos ensaios com a realização da coagulação e da floculação.

5.2.1.1 Ensaio sem etapa de coagulação/floculação

Foram comparadas diferentes condições de tempo e gradiente de velocidade na dissolução da proteína para cada tempo em que foram coletadas as amostras. O teste estatístico não foi aplicado para o tempo 0 da sedimentação pois, como objetivou-se comparar os tempos durante a sedimentação, entende-se que no tempo 0 ainda não havia se iniciado esse processo.

5.2.1.1.1 Avaliação da Turbidez

A Tabela 05 apresenta os valores médios de turbidez obtidos para todas as condições de dispersão apresentadas na Tabela 02 e as quatro dosagens adotadas. Além desses valores, também estão apresentados os resultados do Teste de Scott-Knott com nível de significância de 5%.

É possível se observar na Tabela 05 que o coagulante líquido apresentou-se estatisticamente igual em todas as condições para cada tempo de sedimentação, exceto no tempo 5 minutos, no qual a condição C3 (35 minutos de dissolução a 10 s^{-1}). Considerando-se o decorrer da sedimentação, o coagulante líquido apresentou-se estatisticamente constante após 5 minutos.

Já para os sachês de 0,6 g de pó, nos tempos 5, 15 e 30 as condições C4 e C6 apresentam-se diferentes das outras condições. Nos tempos 45 e 60 minutos apenas C6 que difere estatisticamente das outras. Além disso, a partir de 5 minutos, nenhuma condição apresentou redução significativa da turbidez. Apesar de não ter sido verificada tal redução nesse intervalo, essa maior redução foi verificada do início da sedimentação até 5 minutos. Isso pode ter ocorrido devido ao fato de C6 ter sido a condição com maior tempo de dissolução da proteína e maior gradiente de velocidade.

No caso dos sachês de 0,8 g, nas condições C1, C2, C4 e C6 não apresentaram redução significativa ao longo da sedimentação. C3 e C5 reduziram a partir de 15 minutos de sedimentação. Porém, C4 e C6 foram as condições que apresentaram menores valores finais na sedimentação.

Tabela 05: Valores médios de turbidez das condições de dissolução da proteína ao longo da sedimentação e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância (*)

Dosagem	Condição de dissolução	Tempo (minutos)					
		0	5	15	30	45	60
Coagulante Líquido (10 mL L⁻¹)	C1	90,3	6,21 a A	5,36 a A	5,21 a A	4,99 a A	5,05 a A
	C2	91,05	9,71 a A	7,19 a A	6,92 a A	6,83 a A	6,86 a A
	C3	91,1	14,1 a B	12,85 a A	12,65 a A	12,7 a A	12,5 a A
	C4	91,5	6,92 a A	4,61 a A	3,98 a A	3,74 a A	3,99 a A
	C5	63,9	10,7 a A	9,80 a A	9,76 a A	9,71 a A	9,56 a A
	C6	91,4	6,03 a A	4,35 a A	3,38 a A	3,04 a A	3,44 a A
Sachê 0,6 g	C1	81,61	79,97 a E	78,33 a E	75,43 a E	73,37 a D	72,7 a D
	C2	77,9	77,07 a E	75,73 a E	72,23 a E	71,43 a D	70,43 a D
	C3	76,2	76,17 a E	75,83 a E	75,37 a E	74,17 a D	73,1 a D
	C4	77,13	67,37 a D	63,53 a D	62,20 a D	62,07 a D	60,33 a D
	C5	77,43	71,27 a E	75,10 a E	73,67 a E	73,03 a D	71,83 a D
	C6	79,67	41,1 a C	36,27 a B	35,13 a B	33,63 a B	32,67 a B
Sachê 0,8 g	C1	80,63	80,27 a E	79,30 a E	77,97 a E	74,2 a D	73,03 a D
	C2	80,6	64,2 a D	57,67 a D	54,80 a D	53,23 a C	51,8 a C
	C3	77,93	41,13 b C	35,27 b B	26,97 a B	18,1 a A	14,43 a A
	C4	79,93	20,17 a B	15,17 a A	14,19 a A	12,74 a A	11,27 a A
	C5	79,5	58,63 b D	52,43 b C	47,23 a C	41,6 a C	38,07 a C
	C6	86,1	17,23 a B	8,76 a A	7,74 a A	6,95 a A	6,62 a A
Sachê 1,0 g	C1	84,7	69,47 b D	78,10 b E	55,37 a D	50,23 a C	45,53 a C
	C2	81,95	61,7 b D	44,23 a C	40,90 a C	35,2 a B	31,51 a B
	C3	75,67	20,73 a B	17,73 a A	15,07 a A	12,6 a A	10,96 a A
	C4	81,12	18,2 a B	9,48 a A	7,50 a A	6,63 a A	6,64 a A
	C5	83,27	32,3 b C	25,70 b B	19,25 a B	14,12 a A	11,5 a A
	C6	89,73	30,33 b C	12,47 a A	7,83 a A	6,81 a A	6,66 a A

(*) As letras minúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em linha. As letras maiúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em coluna

Para os sachês de 1,0 g, em todas as condições de dissolução da proteína foi verificada redução de turbidez. Dentre elas, C1 e C 5 não apresentaram redução significativa de turbidez até o tempo 30 minutos de sedimentação. C2 e C6 apresentaram redução até 15 minutos de sedimentação.

Os gráficos apresentados nas Figuras 14, 15, 16 e 17 mostram, respectivamente, o comportamento do coagulante líquido, dos sachês de 0,6 g, 0,8 g e 1,0 g de pó de *Moringa oleifera* ao longo da sedimentação.

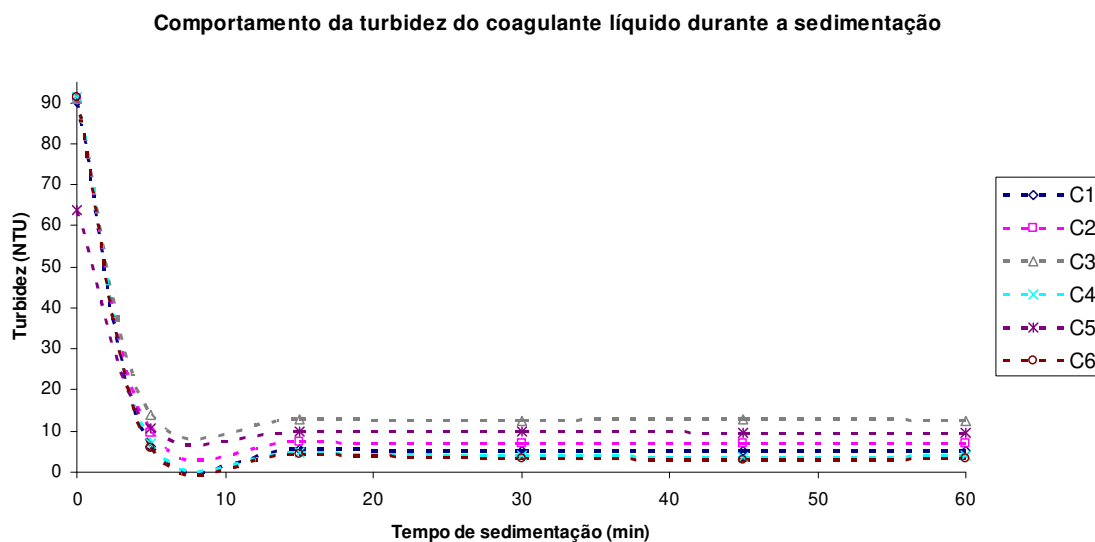


Figura 14: Comportamento da turbidez do coagulante líquido ao longo da sedimentação

Através do gráfico apresentado na Figura 14, é possível se observar que o comportamento para todas as condições utilizando-se o coagulante líquido apresentam comportamento semelhante ao longo da sedimentação após 5 minutos de sedimentação. Antes disso, apenas C5 teve sua turbidez inicial mais baixa que das outras condições.

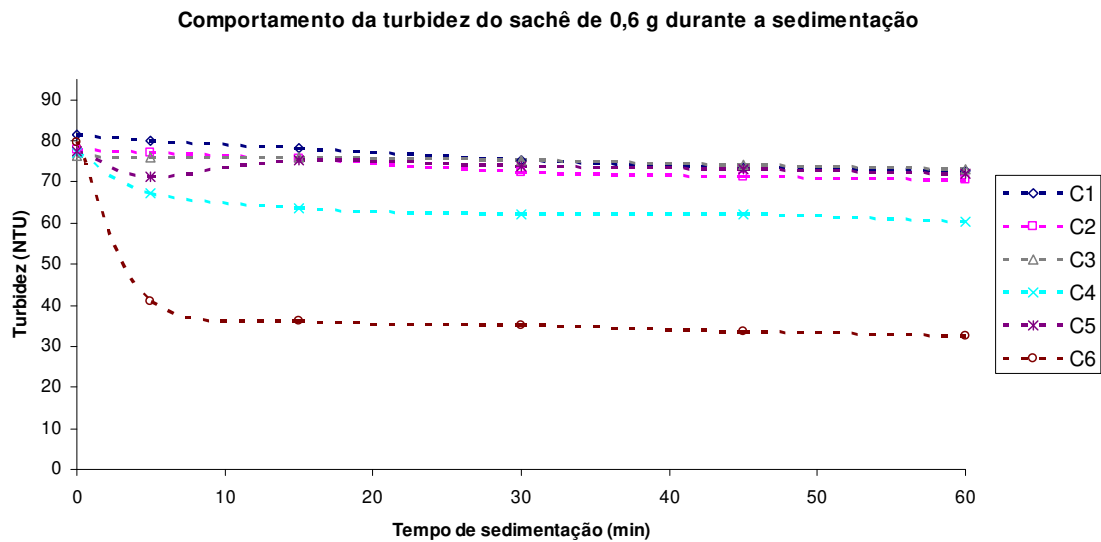


Figura 15: Comportamento da turbidez do sachê de 0,6 g ao longo da sedimentação

Através da Figura 15, como já observado através da Tabela 05, apenas verifica-se redução significativa de turbidez ao longo da sedimentação apenas na condição C6 (40 minutos de dissolução, com gradiente de velocidade de 20 s^{-1}). As outras condições não apresentam redução significativa ao longo da sedimentação

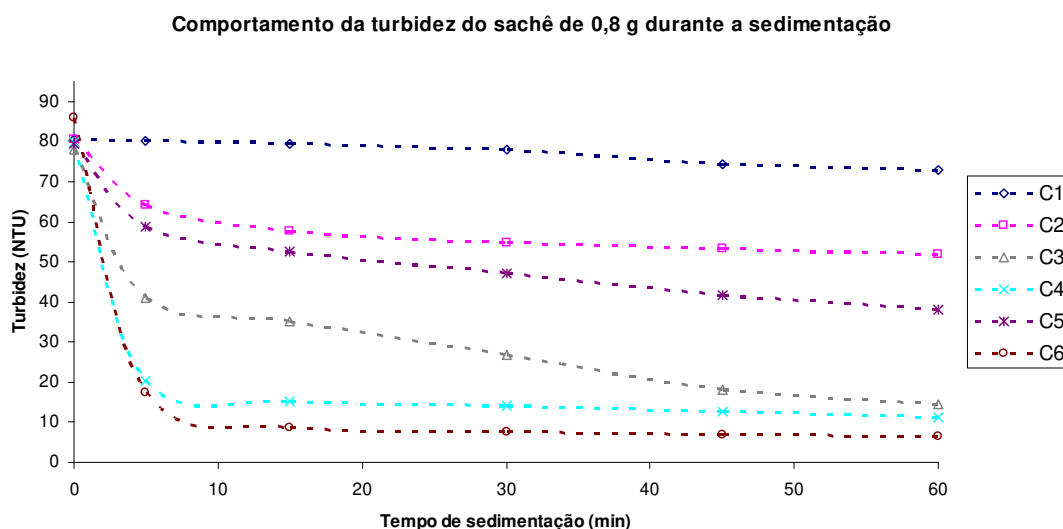


Figura 16: Comportamento da turbidez do sachê de 0,8 g ao longo da sedimentação

Nos sachês de 0,8 g, as condições C4 (35 minutos de dispersão a 20 s^{-1}) e C6 (40 minutos de dispersão a 20 s^{-1}) apresentam maior redução de turbidez, havendo entre elas, um comportamento semelhante ao longo do tempo. Deve-se considerar que essas duas condições são as mais extremas de velocidade de agitação e tempo de dispersão. Isso pode ter favorecido a formação de flocos. Na condição C3 (35 minutos de dispersão e 20 s^{-1} de gradiente de velocidade), apesar do comportamento ao longo da sedimentação não ter sido semelhante à C4 e C6, obteve-se uma redução considerável da turbidez. Em C1 e C2, ambas com tempo de dispersão mínimo, de 30 minutos, verificaram-se as menores reduções de turbidez. Associado a isso, C1 que teve o gradiente de velocidade menor (gradiente de 10 s^{-1}) apresentou valor final de turbidez maior que C2 (gradiente de 20 s^{-1})

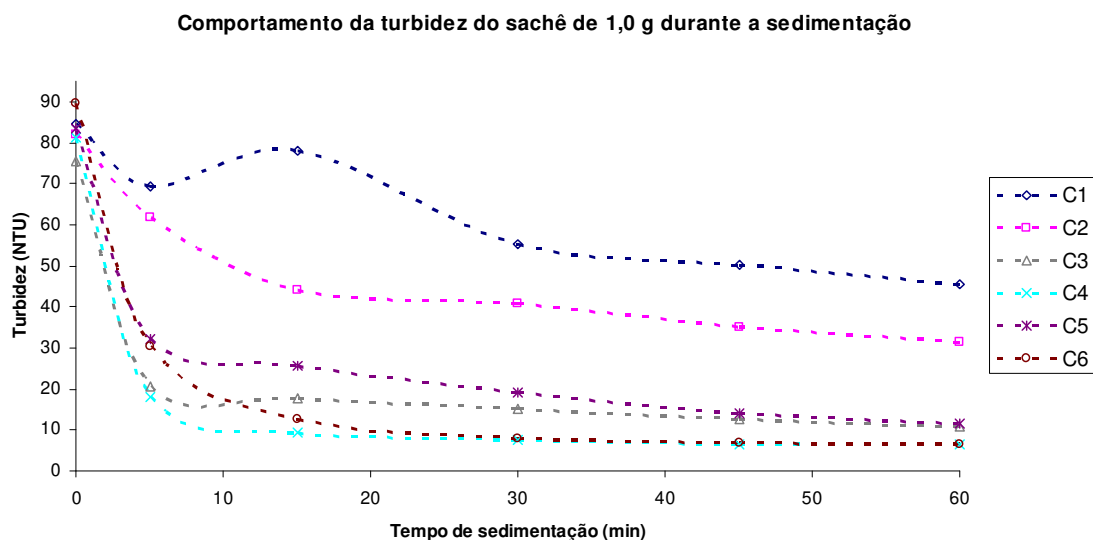


Figura 17: Comportamento da turbidez do sachê de 1,0 g ao longo da sedimentação

Considerando-se os sachês de 1,0 g, observa-se que C1 e C2, condições de menor tempo de dispersão (30 minutos), foram as que apresentaram menores reduções de turbidez.

C3 e C5, ambas com gradiente de velocidade de 10 s^{-1} , verificou-se comportamento semelhante ao longo da sedimentação, apresentando redução intermediária de turbidez com relação às outras condições. C4 e C6 também apresentaram comportamentos próximos. Isso pode indicar que, a partir de 35 minutos de dissolução, o comportamento foi condicionado pelo gradiente de velocidade durante a dissolução da proteína.

Conclui-se que, para o parâmetro turbidez quando não há a realização das operações unitárias coagulação e floculação, apesar dos sachês de 0,8 g e 1,0 g apresentarem eficiências mais elevadas na condição C6, 89,98% e 89,92%, respectivamente, essas são menores que a melhor eficiência do coagulante líquido, que se dá nessa mesma condição.

5.2.1.1.2 Avaliação da Cor Aparente

A Tabela 06 apresenta os valores médios de cor aparente calculados para todas as dosagens já apresentadas na Tabela 02. Além disso, também estão apresentados os resultados do Teste de Scott-Knott com 5% de significância.

Analisando-se o coagulante líquido ao longo da sedimentação, todas as condições (de C1 a C6) apresentaram comportamento semelhante. Também foi verificado comportamento semelhante para todas as condições em cada tempo.

Para os sachês de 0,6 g de pó de *Moringa oleifera*, nota-se que nos casos de 35 minutos de dissolução com gradiente de velocidade de 20 s^{-1} (C4) e 40 minutos de dissolução com gradiente de velocidade de 20 s^{-1} (C6) houve diferença entre tratamentos para cada tempo de sedimentação. Esses dois casos apresentaram menores valores de cor aparente, o que pode indicar que o gradiente de velocidade colabora para a melhora de eficiência de redução do parâmetro. Já com relação ao comportamento de cada tratamento ao longo do tempo, não foi verificada redução significativa durante a sedimentação.

Tabela 06: Valores médios de cor aparente das condições de dissolução de proteína na sedimentação e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância

Dosagem	Condição de dissolução	Tempo					
		0	5	15	30	45	60
Coagulante Líquido (10 mL L⁻¹)	C1	389,50	36,00 a A	16,50 a A	15,50 a A	15,00 a A	15,00 a A
	C2	400,50	38,50 a A	26,50 a A	26,50 a A	25,50 a A	23,50 a A
	C3	428,50	58,50 a A	53,50 a A	52,50 a A	51,50 a A	52,00 a A
	C4	409,50	23,50 a A	15,00 a A	12,00 a A	11,50 a A	11,50 a A
	C5	290,00	45,50 a A	41,50 a A	41,00 a A	43,00 a A	43,00 a A
	C6	422,00	22,50 a A	15,50 a A	11,00 a A	11,50 a A	11,50 a A
Sachê 0,6 g	C1	368,33	384,33 a D	362,00 a D	348,67 a D	339,33 a D	336,00 a D
	C2	356,67	363,33 a D	345,67 a D	333,67 a D	328,33 a D	325,00 a D
	C3	359,00	358,00 a D	360,67 a D	358,00 a D	350,33 a D	350,00 a D
	C4	352,67	303,33 a C	281,00 a C	279,33 a C	274,67 a C	269,00 a C
	C5	360,67	360,33 a D	342,67 a D	349,00 a D	342,67 a D	338,33 a D
	C6	361,67	177,67 a B	151,00 a B	145,00 a B	141,33 a B	138,33 a B
Sachê 0,8 g	C1	336,67	384,33 a D	375,00 a D	356,00 a D	311,33 a D	331,00 a D
	C2	370,67	280,00 a C	253,00 a C	246,00 a C	234,67 a C	299,00 a C
	C3	361,00	178,67 b B	154,33 b B	115,00 a B	79,00 a A	62,67 a A
	C4	356,33	84,00 a A	61,33 a A	56,00 a A	51,33 a A	44,67 a A
	C5	380,67	253,67 b C	221,00 b C	202,33 a C	179,33 a C	165,33 a B
	C6	391,67	75,00 a A	37,00 a A	31,67 a A	27,67 a A	27,00 a A
Sachê 1,0 g	C1	403,33	325,00 b D	357,50 b D	240,00 a C	244,00 a C	204,33 a C
	C2	368,50	273,50 b C	188,00 a B	173,67 a B	155,33 a B	135,67 a B
	C3	346,33	93,33 a A	79,33 a A	67,33 a A	56,33 a A	50,00 a A
	C4	372,00	79,25 a A	43,00 a A	31,67 a A	29,33 a A	26,67 a A
	C5	376,67	135,33 b B	105,00 b B	78,00 a A	57,00 a A	48,00 a A
	C6	400,00	138,33 b B	56,00 a A	33,67 a A	30,33 a A	29,00 a A

(*) As letras minúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em linha. As letras maiúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em coluna

Nos sachês de 0,8 g observa-se que em C3 e C5 observou-se redução do valor de cor aparente ao longo dos primeiros 30 minutos da sedimentação. Nos outros casos não foi verificada redução significativa de cor aparente no decorrer do tempo. Porém, C4 e C6 apresentaram menores valores de cor aparente ao final da sedimentação.

Já nos sachês de 1,0 g observou-se que no tempo de sedimentação 5 minutos os pares de condições C5/C6 e C3/C4, respectivamente os tempos de dissolução 40 e 35 minutos, foi verificada semelhança estatística para cada par. Já no tempo 15 minutos, C6 tem sua cor aparente reduzida, colocando a condição no mesmo grupo estatístico de C3 e C4. A partir do tempo 30 minutos essas 4 condições passam a ser estatisticamente semelhantes. Já as outras duas condições (com tempo de dissolução da proteína de 30 minutos) não apresentaram semelhança estatística com as outras 4 condições nos tempos de sedimentação, exceto no tempo 15 minutos, que C2 se aproxima estatisticamente de C5.

Analisando-se esses dados para os sachês de 1,0 g de cada condição ao longo do tempo, pode-se agrupar essas condições em 3 grupos: C1/C5, C2/C6 e C3/C4. No primeiro grupo, têm-se os extremos de tempo de dissolução da proteína e os menores gradientes de velocidade (demora mais tempo para apresentar redução significativa, só após 30 minutos); no segundo, os extremos de tempos de dissolução de proteína com os maiores gradientes de velocidade (já é observada redução significativa a partir de 15 minutos); e o terceiro, os dois gradientes de velocidade com o tempo de dissolução de proteína intermediário (não foi verificada redução significativa ao longo da sedimentação).

Os gráficos apresentados nas Figuras 18, 19, 20 e 21 mostram, respectivamente, o comportamento da cor aparente do coagulante líquido, dos sachês de 0,6 g, 0,8 g e 1,0 g de pó de *Moringa oleifera* ao longo da sedimentação.

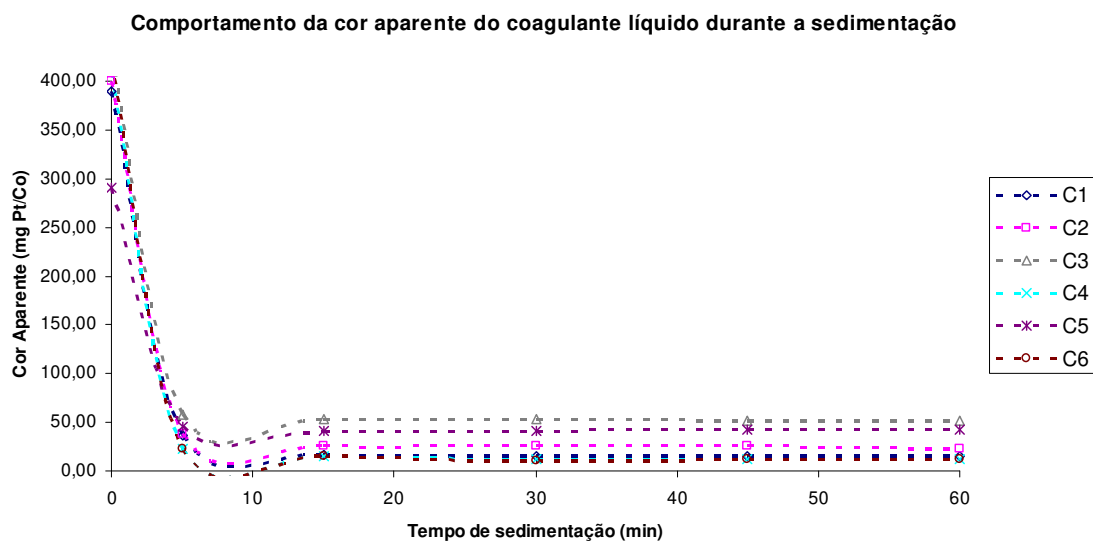


Figura 18: Comportamento da cor aparente do coagulante líquido ao longo da sedimentação

Através da Figura 18, observa-se que o comportamento de redução de cor aparente de todas as condições para o coagulante líquido são bastante próximas entre 0 e 5 minutos de sedimentação. Depois desse tempo, as 6 condições apresentaram delineamento semelhante.

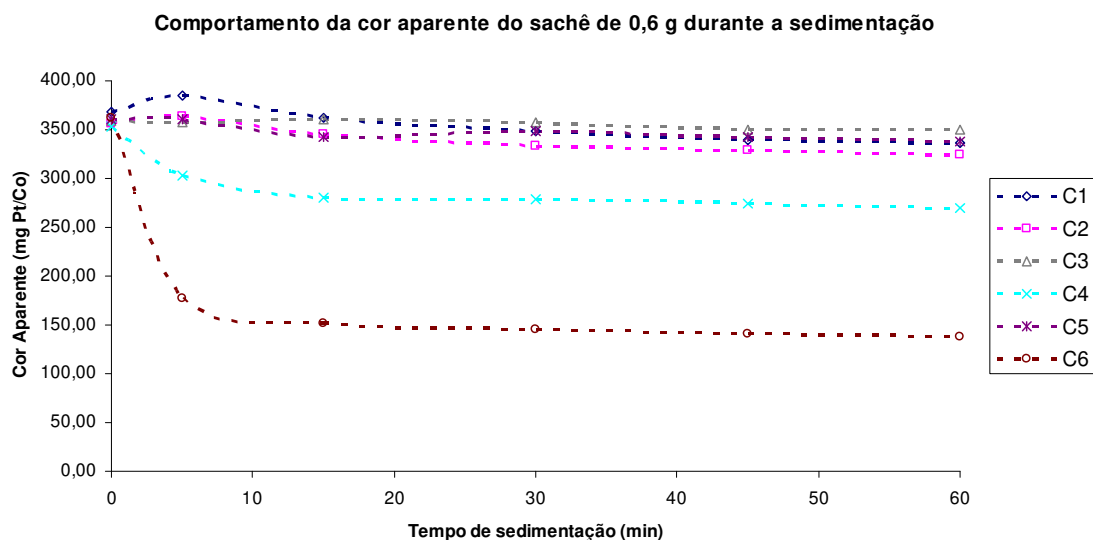


Figura 19: Comportamento da cor aparente do sachê de 0,6 g ao longo da sedimentação

Através do gráfico apresentado na Figura 19, é possível se observar que C6 (40 minutos de dissolução com gradiente de velocidade de 20 s^{-1}) foi a condição que apresentou maior redução de valor de cor aparente ao longo do período de sedimentação. Além dessa condição, C5 (40 minutos de dissolução, com gradiente de velocidade de 10 s^{-1}) também apresenta redução de cor aparente durante a sedimentação, porém menor que de C6. Para as outras condições de dissolução da proteína com dosagem de 0,6 g de pó no sachê, não pode ser observada redução significativa de cor aparente durante a sedimentação.

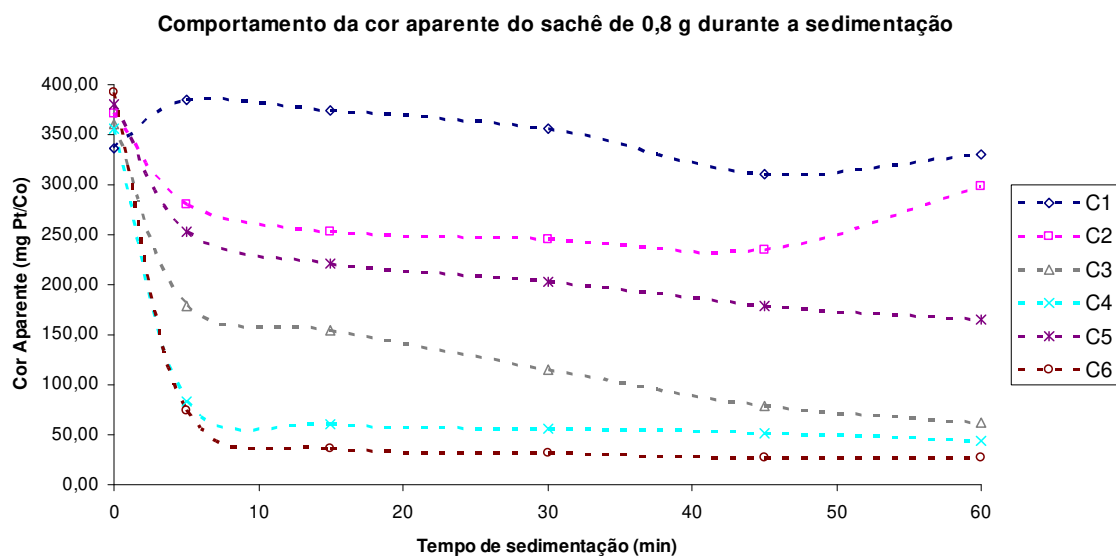


Figura 20: Comportamento da cor aparente do sachê de 0,8 g ao longo da sedimentação

É possível se observar, através da Figura 20, que C4 e C6 apresentam comportamento mais próximo de redução de cor aparente ao longo da sedimentação. C1 e C2 oscilaram, porém não apresentaram redução significativa durante a sedimentação.

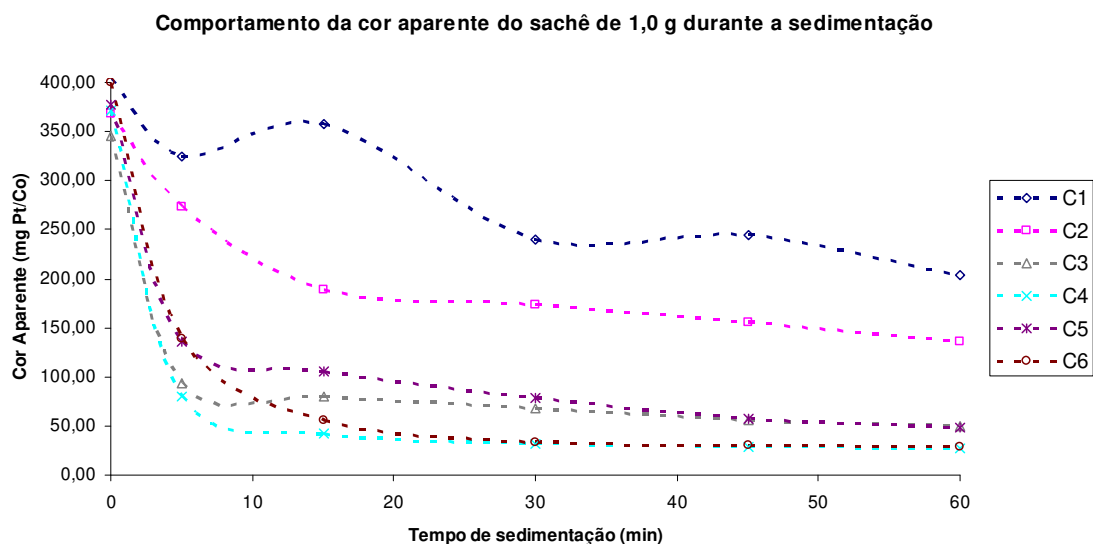


Figura 21: Comportamento da cor aparente do sachê de 1,0 g ao longo da sedimentação

A partir do gráfico da Figura 21, observa-se que C1 e C2 são as condições que apresentam menores reduções de turbidez ao longo da sedimentação. As outras 4 condições com sachê de 1,0 g de massa de pó apresentaram queda mais acentuada nos 5 primeiros minutos de sedimentação e oscilaram um pouco no decorrer do tempo. Ao final dos 60 minutos, C4 e C6 tiveram valor de cor aparente bastante próximo. Além disso, C3 e C5 também foram próximos.

Assim como para turbidez, quando não há as operações unitárias de coagulação e floculação, as melhores eficiências de redução de cor aparente nos sachês de 0,8 g e 1,0 g (91,43% e 91,34%, respectivamente) são menores que a eficiência de redução do coagulante líquido (96,35%).

5.2.1.1.3 Avaliação do Teor de Proteína

A Tabela 07 apresenta os valores médios de teor de proteína encontrados para as amostras no tempo 0, imediatamente quando se iniciou a etapa de sedimentação.

A partir da Tabela 07, observa-se que C5 e C3 apresentaram menores teores de proteína que C1, C2, C4 e C6, todas essas condições para o coagulante líquido. Isso pode vir a justificar a menor redução observada para os parâmetros turbidez e para cor aparente para tais condições.

No caso dos sachês de 0,6 g de pó, observa-se que todas as condições apresentaram valores relativamente baixos de teor de proteína. Possivelmente, essa massa de pó de *Moringa oleifera*, independentemente da condição de dissolução, não forneceu proteína catiônica suficiente para que houvesse a redução de cor aparente e turbidez, não sendo suficiente para reduzir o incremento que esses parâmetros sofreram após a dissolução da proteína.

Para os sachês de 0,8 g, a condição C1 foi a que apresentou menor redução tanto de cor aparente e turbidez, fato que pode ser explicado por ser a condição que teve menor teor de proteína para essa dosagem. C2 e C5, condições que apresentaram valores intermediários de teor de proteína, também foram as condições que tiveram redução intermediária de cor aparente e turbidez.

C1 e C2 foram as condições para os sachês de 1,0g que apresentaram menores teores de proteína. Isso pode justificar as menores reduções dos valores de cor aparente e turbidez para essas condições ao longo da sedimentação.

Tabela 07: Valores médios de teor de proteína das condições de dissolução de proteína e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância

Dosagem	Condição de dissolução	Tempo	
		0	
Coagulante Líquido (10 mL L⁻¹)	C1	46,47	D
	C2	45,88	D
	C3	40,05	C
	C4	43,73	D
	C5	34,45	B
	C6	41,19	C
Sachê 0,6 g	C1	31,99	B
	C2	31,04	A
	C3	30,25	A
	C4	28,42	A
	C5	33,11	B
	C6	26,67	A
Sachê 0,8 g	C1	28,03	A
	C2	33,18	B
	C3	37,23	C
	C4	39,85	C
	C5	35,17	B
	C6	38,90	C
Sachê 1,0 g	C1	35,56	B
	C2	27,43	A
	C3	41,35	C
	C4	38,74	C
	C5	41,36	C
	C6	50,40	E

(*) As letras minúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em linha. As letras maiúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em coluna

5.2.1.2 Ensaios com etapa de coagulação/floculação

Serão comparadas as diferentes condições de tempo e gradiente de velocidade na dissolução da proteína para cada tempo em que foram coletadas as amostras.

5.2.1.2.1 Avaliação da Turbidez

A Tabela 08 apresenta os valores médios de turbidez calculados para todas as dosagens já apresentadas na Tabela 02. Além desses valores, também estão apresentados os resultados do Teste de Scott-Knott com nível de significância de 5%.

A partir da Tabela 08, observa-se que para o coagulante líquido a turbidez é estatisticamente igual para todas as condições em todos os tempos. Além disso, nenhuma das condições apresenta redução significativa após os 5 minutos de sedimentação.

Tabela 08: Valores médios de turbidez das condições de dissolução da proteína ao longo da sedimentação e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância (*)

Dosagem	Condição de dissolução	Tempo					
		0	5	15	30	45	60
Coagulante Líquido (10 mL L⁻¹)	C1	89,10	9,42 a A	2,94 a A	2,00 a A	1,61 a A	1,37 a A
	C2	87,60	10,29 a A	3,33 a A	2,12 a A	1,62 a A	1,41 a A
	C3	86,60	8,33 a A	3,39 a A	2,27 a A	1,59 a A	1,38 a A
	C4	88,25	11,10 a A	4,00 a A	2,74 a A	2,17 a A	2,03 a A
	C5	87,75	9,84 a A	3,30 a A	2,13 a A	1,69 a A	1,31 a A
	C6	88,00	8,01 a A	3,71 a A	2,41 a A	2,17 a A	1,64 a A
Sachê 0,6 g	C1	78,30	30,23 a B	25,00 a B	23,90 a B	23,53 a B	15,67 a B
	C2	77,57	22,67 a B	17,50 a B	16,83 a B	16,57 a B	16,33 a B
	C3	77,33	23,30 a B	17,97 a B	17,10 a B	16,80 a B	16,63 a B
	C4	80,03	21,20 a B	14,87 a B	14,37 a B	13,90 a B	13,93 a B
	C5	78,80	17,27 a A	12,87 a B	12,23 a B	11,90 a B	11,90 a B
	C6	80,60	14,17 a A	10,50 a B	9,84 a B	9,23 a B	9,18 a B
Sachê 0,8 g	C1	81,97	14,00 a A	12,59 a B	11,91 a B	11,51 a B	11,38 a B
	C2	80,53	17,80 a A	6,02 a A	4,42 a A	3,88 a A	3,63 a A
	C3	81,27	31,13 b B	5,20 a A	3,43 a A	3,14 a A	2,95 a A
	C4	81,80	37,36 b B	4,82 a A	3,62 a A	3,01 a A	2,83 a A
	C5	82,70	52,03 b C	7,06 a A	4,08 a A	3,33 a A	2,63 a A
	C6	83,77	51,70 b C	11,17 a B	4,99 a A	3,73 a A	3,00 a A
Sachê 1,0 g	C1	85,77	26,00 b B	4,99 a A	2,70 a A	2,07 a A	1,71 a A
	C2	81,10	26,10 b B	4,43 a A	3,08 a A	2,61 a A	2,25 a A
	C3	82,23	45,65 b C	8,82 a A	5,13 a A	4,03 a A	3,47 a A
	C4	83,93	60,35 b C	8,53 a A	4,43 a A	3,37 a A	2,87 a A
	C5	88,03	75,07 b D	12,67 a B	7,74 a A	5,88 a A	4,86 a A
	C6	90,50	78,93 b D	16,80 a B	7,38 a A	5,66 a A	4,87 a A

(*) As letras minúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em linha. As letras maiúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em coluna

Para os sachês de 0,6 g, exceto no tempo 5 minutos de sedimentação, no qual foi verificado que C5 e C6 eram diferentes estatisticamente das outras 4 condições, nos outros tempos todas as condições pertenciam ao mesmo grupo de semelhança estatística. Isso pode indicar que em C5 e C6 no tempo 5 minutos, os menores valores de turbidez encontrados estão associados ao maior tempo de dissolução da proteína. Além disso, analisando-se o comportamento de cada condição ao longo da sedimentação, não foi observada redução significativa em nenhuma das condições.

Nos sachês de 0,8 g, observou-se que para C1 e C2 (30 minutos de dissolução com 10 e 20 s⁻¹ de gradiente de velocidade, respectivamente) não houve diferença significativa no valor da turbidez no decorrer da sedimentação. Já nas demais condições (C3, C4, C5 e C6), os valores de turbidez não apresentavam mais diferenças significativas a partir de 15 minutos.

Já para os sachês de 1,0 g de pó das sementes de *Moringa oleifera*, observa-se comportamento semelhante em todas as condições ao longo do tempo: redução significativa até 15 minutos de sedimentação. Agora, analisando-se as condições em cada tempo de sedimentação, observa-se que no tempo 5 minutos as condições estão divididas em grupos de semelhança estatística coincidindo com os tempos de dissolução da proteína. No tempo 15 minutos, apenas as condições de 40 minutos de dissolução são diferentes estatisticamente. E, a partir do tempo 30 minutos, todas as condições são semelhantes estatisticamente.

Os gráficos apresentados nas Figuras 22, 23, 24 e 25 mostram, respectivamente, o comportamento do coagulante líquido, dos sachês de 0,6 g, 0,8 g e 1,0 g de pó de *Moringa oleifera* ao longo da sedimentação.

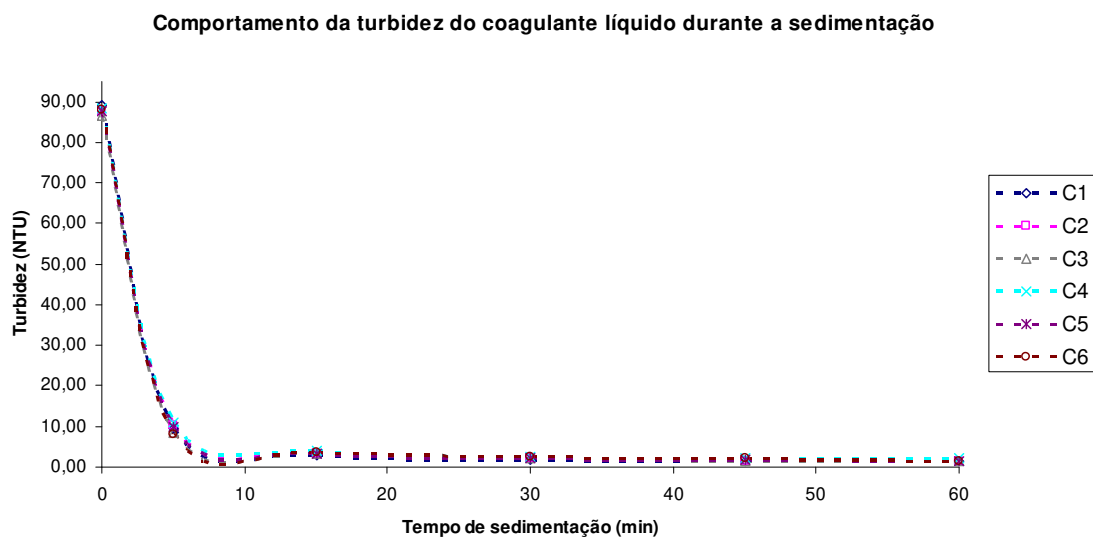


Figura 22: Comportamento da turbidez do coagulante líquido ao longo da sedimentação

O comportamento similar para todas as condições com o coagulante líquido, vistos na Tabela 08, podem ser confirmados observando-se o comportamento das curvas no gráfico representado na Figura 22, no qual as curvas estão quase que sobrepostas.

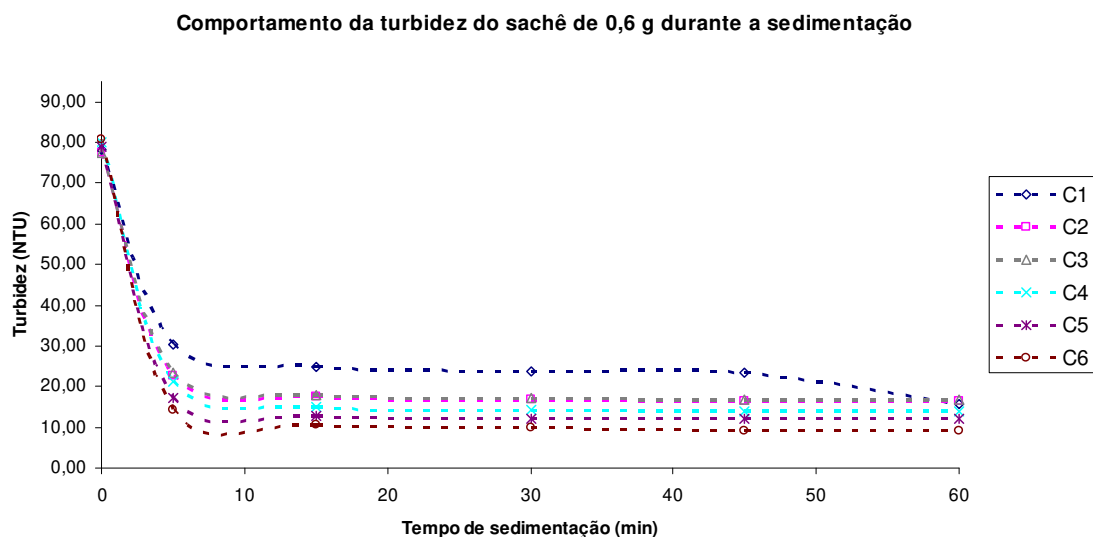


Figura 23: Comportamento da turbidez do sachê de 0,6 g ao longo da sedimentação

No caso do sachê de 0,6 g, apesar dos valores de turbidez ao longo da sedimentação não serem tão próximos como no caso do coagulante líquido, nota-se que, como já visto através da Tabela 8, as curvas do gráfico da Figura 23 apresentam comportamento semelhante ao longo da sedimentação. Além disso, observa-se que a redução de turbidez é maior conforme se aumentou o tempo de dispersão da proteína.

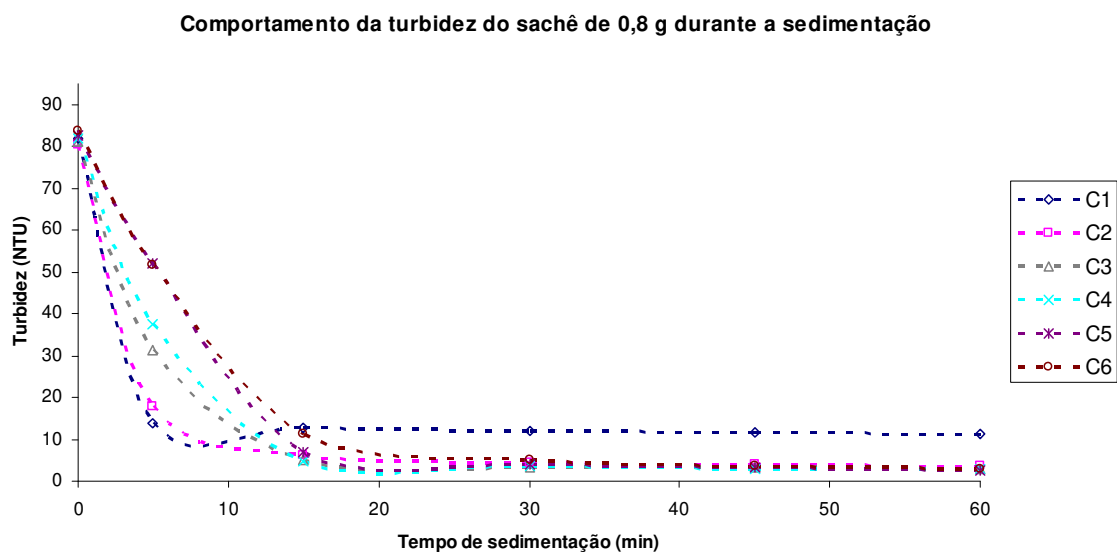


Figura 24: Comportamento da turbidez do sachê de 0,8 g ao longo da sedimentação

No gráfico apresentado na Figura 24, observa-se o comportamento diferente para C1 e C2, em relação às outras condições. Essas 2 condições proporcionaram queda na turbidez mais rápido que as outras. Apesar desses 2 casos serem os que tiveram menor tempo de dissolução, para essa dosagem, esse tempo já foi suficiente para a liberação de proteína necessária para que o processo de coagulação ocorresse. No entanto, houve menos danos aos flocos que se formaram durante a dispersão do que nas condições que tais flocos ficaram mais tempo sob agitação, sendo possível verificar pelo gráfico que até 15 minutos essa dissolução ocorre para os 3 tempos (quanto maior o tempo, menor a redução até 15 minutos).

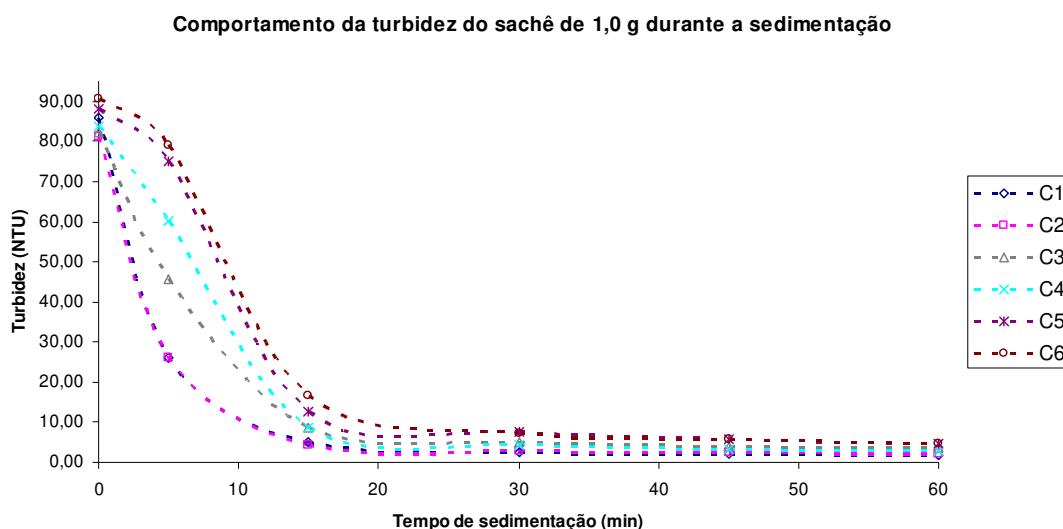


Figura 25: Comportamento da turbidez do sachê de 1,0 g ao longo da sedimentação

No caso dos sachês de 1,0 g de pó das sementes de *Moringa oleifera*, observa-se que C5 e C6 demoram mais para apresentar redução da turbidez. No entanto, a partir de 15 minutos de sedimentação, todas as condições se apresentam estatisticamente próximas. Esse comportamento observado para os sachês de 1,0 g foi bastante próximo do encontrado para o sachê de 0,8 g, nos quais nas condições de maior tempo de dispersão, observa-se que a redução de turbidez demorou mais tempo para ocorrer.

De um modo geral, para os ensaios com coagulação e floculação, o fato de se efetuar essas etapas resulta em um comportamento mais homogêneo durante a sedimentação. No caso do sachê de 0,6 g, talvez não se tenha obtido uma dosagem suficiente. Já nos sachês com as outras duas massas de pó, um menor tempo de dispersão favorece a sedimentação, além de ser mais viável do ponto de vista operacional.

Nesses casos nos quais não houve a realização das etapas de coagulação e floculação, foi possível observar que na condição de menor tempo dispersão para o sachê de 1,0 g obtém eficiência de redução de turbidez bastante próxima do coagulante líquido, sendo de cerca de 98%.

5.2.1.2.2 Avaliação da Cor Aparente

A Tabela 09 apresenta os valores médios de cor aparente calculados para todas as dosagens já apresentadas na Tabela 02. Além disso, também estão apresentados os resultados do Teste de Scott-Knott com 5% de significância.

Tabela 09: Valores médios de cor aparente das condições de dissolução de proteína na sedimentação e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância

Dosagem	Condição de dissolução	Tempo					
		0	5	15	30	45	60
Coagulante Líquido (10 mL L⁻¹)	C1	419,00	42,00 a A	11,00 a A	6,00 a A	4,00 a A	3,00 a A
	C2	403,50	46,50 a A	13,00 a A	10,00 a A	8,00 a A	6,50 a A
	C3	397,00	35,50 a A	15,50 a A	11,00 a A	7,50 a A	6,50 a A
	C4	421,00	54,50 a A	16,00 a A	12,00 a A	8,50 a A	8,50 a A
	C5	424,50	45,50 a A	14,00 a A	9,00 a A	7,00 a A	5,00 a A
	C6	415,00	32,50 a A	13,00 a A	7,50 a A	7,00 a A	4,50 a A
Sachê 0,6 g	C1	361,67	124,67 a B	98,67 a A	91,33 a A	90,00 a A	88,67 a A
	C2	357,67	92,00 a B	66,67 a A	62,33 a A	62,00 a A	60,67 a A
	C3	362,67	101,00 a B	74,33 a A	68,67 a A	66,67 a A	66,33 a A
	C4	361,67	89,00 a B	58,33 a A	54,67 a A	52,00 a A	54,33 a A
	C5	365,33	73,67 a A	53,00 a A	49,00 a A	47,00 a A	46,00 a A
	C6	370,33	58,33 a A	40,00 a A	35,33 a A	35,00 a A	34,67 a A
Sachê 0,8 g	C1	372,00	69,00 a A	47,33 a A	44,67 a A	42,67 a A	42,00 a A
	C2	242,00	79,33 b B	24,00 a A	17,67 a A	15,00 a A	13,67 a A
	C3	378,33	46,67 a A	24,33 a A	16,67 a A	14,33 a A	14,33 a A
	C4	372,67	90,67 b B	20,67 a A	15,00 a A	12,00 a A	11,33 a A
	C5	389,00	204,67 b C	34,67 a A	20,67 a A	16,33 a A	13,33 a A
	C6	387,00	238,33 b C	49,33 a A	21,67 a A	17,33 a A	13,00 a A
Sachê 1,0 g	C1	397,33	120,67 b B	23,00 a A	11,67 a A	9,00 a A	7,00 a A
	C2	369,00	120,33 b B	19,00 a A	13,33 a A	10,33 a A	8,67 a A
	C3	386,33	217,67 b C	41,00 a A	25,00 a A	20,00 a A	17,67 a A
	C4	387,33	279,50 b C	39,33 a A	19,67 a A	14,67 a A	13,33 a A
	C5	413,33	357,67 b D	59,67 a A	37,00 a A	28,00 a A	24,00 a A
	C6	424,00	368,00 b D	75,00 a A	32,33 a A	26,33 a A	20,33 a A

(*) As letras minúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em linha. As letras maiúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em coluna

A partir da Tabela 09, é possível observar que, para cada tempo de sedimentação, apenas no tempo 5 minutos não há uniformidade das dosagens e dos tratamentos. Nos outros casos, esses valores são estatisticamente iguais. Nesse tempo, os sachês de 0,6 g apresentam diferença estatística as condições com 40 minutos de dissolução (C5 e C6). Para os sachês de 0,8 g, tem-se 3 grupos estatísticos: C1/C3, C2/C4 e C5/C6. E para os sachês de 1,0 g, esses grupos estatísticos estão divididos para cada tempo de dissolução da proteína.

Considerando-se o coagulante líquido e os sachês de 0,6 g, foi possível verificar mesmo comportamento das condições ao longo da sedimentação.

Nos sachês de 0,8 g, não foi verificada redução significativa de cor aparente nas condições C1 e C3, ambas as condições com gradiente de velocidade de 10 s^{-1} . Nos outros casos, essa redução foi observada até 15 minutos de sedimentação.

Para os sachês de 1,0 g, todas as condições apresentaram comportamento semelhante ao longo do tempo de sedimentação: redução significativa até 15 minutos de sedimentação.

Os gráficos apresentados nas Figuras 26, 27, 28 e 29 mostram, respectivamente, o comportamento da cor aparente do coagulante líquido, dos sachês de 0,6 g, 0,8 g e 1,0 g de pó de *Moringa oleifera* ao longo da sedimentação.

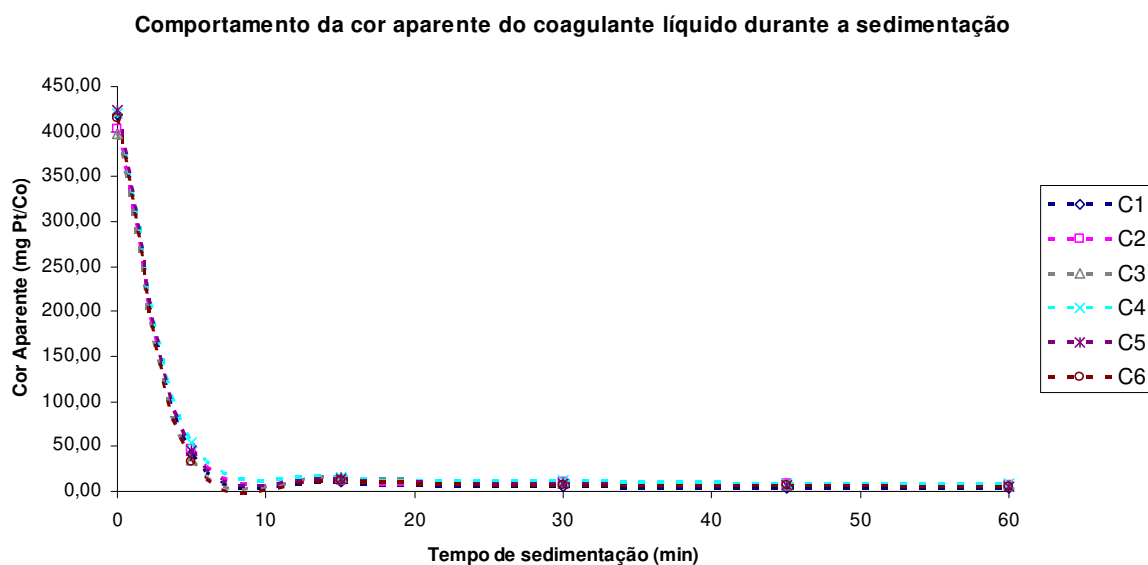


Figura 26: Comportamento da cor aparente do coagulante líquido ao longo da sedimentação

Todas as condições com o uso do coagulante líquido apresentam comportamento semelhante, conforme indica a Figura 26, tendo havido uma queda bastante acentuada do valor da cor aparente já aos 5 minutos da etapa de sedimentação. Após esse intervalo, os valores do parâmetro permaneceram aproximadamente constantes.

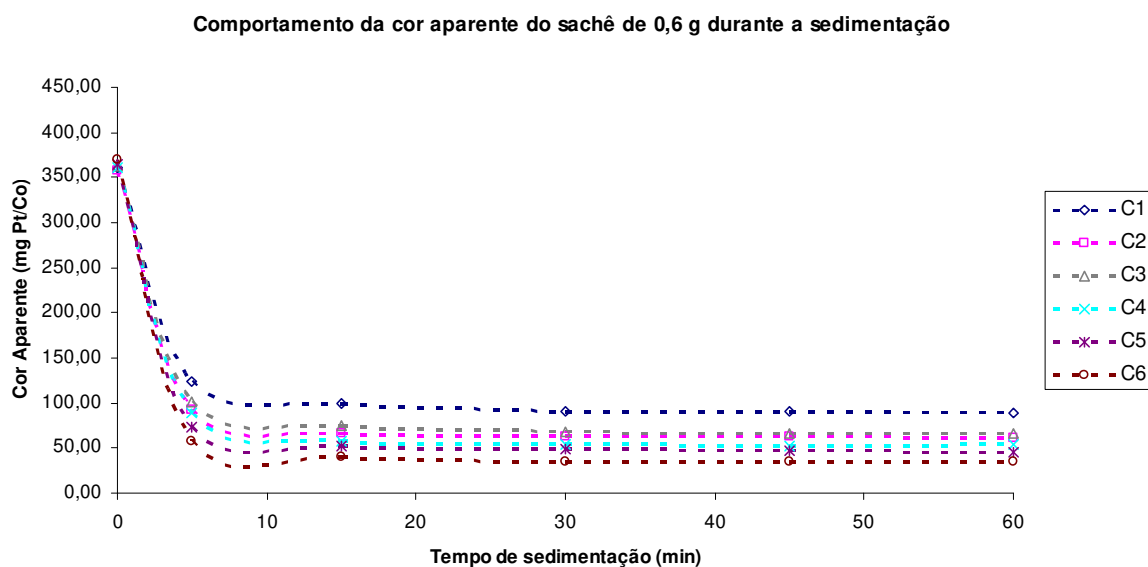


Figura 27: Comportamento da cor aparente do sachê de 0,6 g ao longo da sedimentação

No caso dos sachês de 0,6 g, apesar de valores diferentes de cor aparente, todas as condições apresentaram comportamento semelhante ao longo da sedimentação. Observa-se uma queda mais acentuada até o tempo 5 minutos de sedimentação e, depois disso, os valores permanecem aproximadamente constantes para cada uma das condições até o final da sedimentação. Observa-se que nas condições nas quais o tempo de dispersão foi menor, há uma tendência em ocorrer menor redução de cor aparente também, assim como já observado para a turbidez.

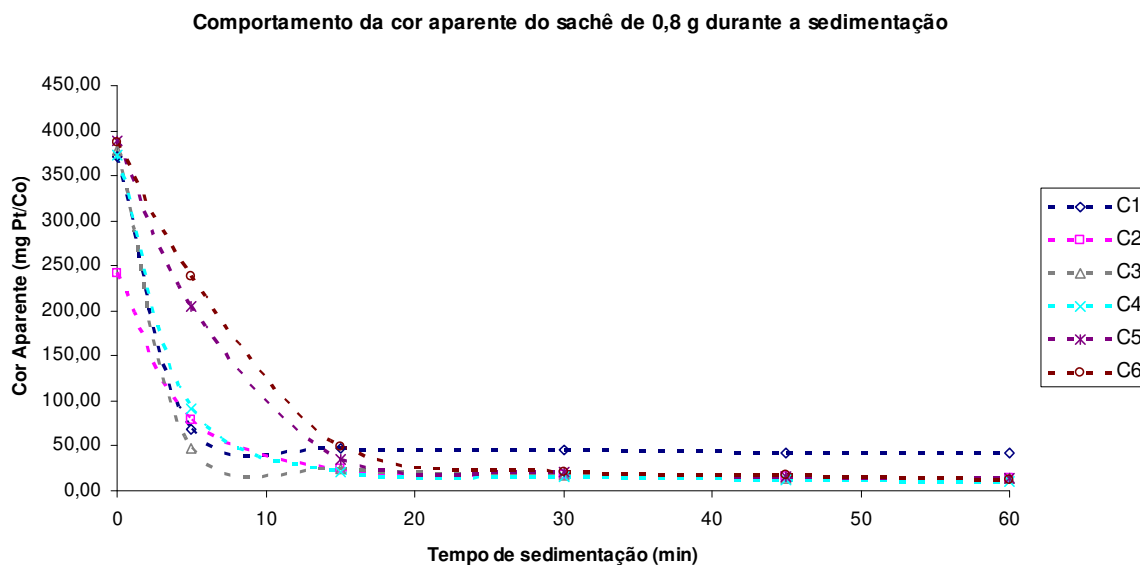


Figura 28: Comportamento da cor aparente do sachê de 0,8 g ao longo da sedimentação

A partir do gráfico da Figura 28, é possível observar que C5 e C6, condições nas quais se adotou maior período de dispersão, apresentam comportamento semelhante, tendo ocorrido uma redução mais lenta ao longo do tempo (redução mais acentuada até 15 minutos). Já as outras condições apresentaram maior redução até 5 minutos. Após 5 minutos de sedimentação, todas as condições apresentaram comportamentos similares.

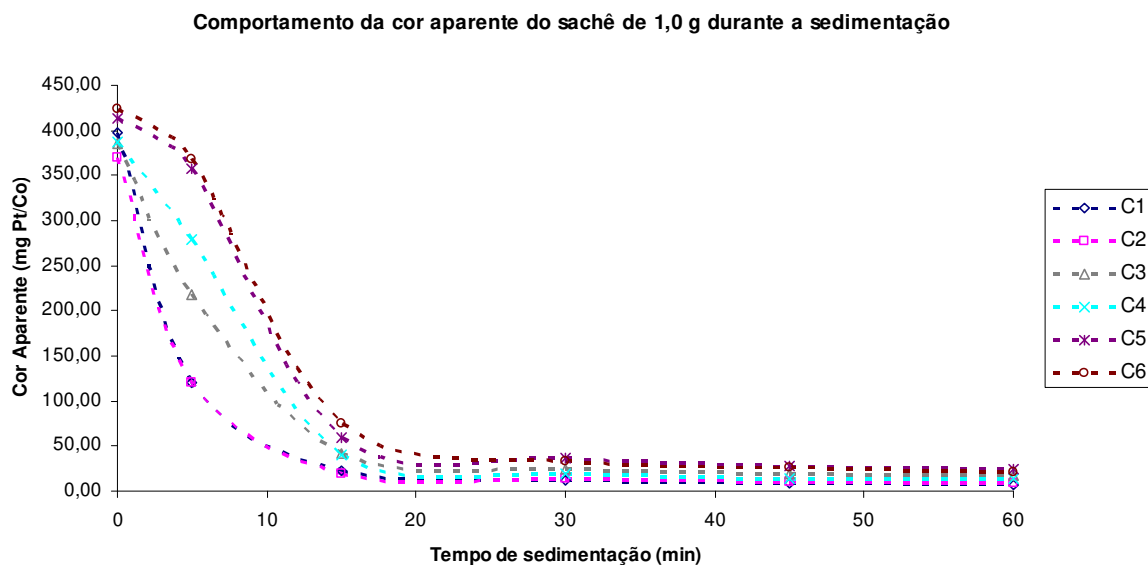


Figura 29: Comportamento da cor aparente do sachê de 1,0 g ao longo da sedimentação

No gráfico da Figura 29 é possível se observar que C1 e C2, condições com menor tempo de dispersão, apresentaram redução mais acentuada do parâmetro cor aparente entre 5 e 15 minutos da sedimentação. Nas condições C3 e C4, nas quais o tempo de dispersão foi intermediário, as curvas de sedimentação de 0 a 15 minutos se situaram entre os outros dois tempos. Já em C5 e C6, situações com tempo de dispersão mais elevado, a redução de cor aparente foi mais lenta até 15 minutos e, após esse período, tais valores permaneceram ligeiramente superiores aos demais.

Com relação ao parâmetro cor aparente, apesar das melhores eficiências serem bastante elevadas nos sachês de 0,8 g e 1,0 g (respectivamente 96,43% e 97,78%), ainda assim são pouco menores que a eficiência média das 6 condições do coagulante líquido (98,18%).

5.2.1.2.3 Avaliação da Proteína

A Tabela 10 apresenta os valores médios de teor de proteína encontrados para as amostras no tempo 0, imediatamente quando se iniciou a etapa de sedimentação.

A partir da Tabela 10 é possível se observar que, para o coagulante líquido, o teor de proteína entre os tratamentos não foi semelhante estatisticamente. No entanto, como nessa parte do trabalho foram realizadas as etapas de coagulação e floculação, pode ter havido homogeneização dos flocos que já haviam sido formados durante a dispersão.

Considerando-se os sachês de 0,6 g, observa-se que as condições que apresentaram menores teores de proteína foram as que resultaram em menor redução de turbidez e cor aparente.

Para os sachês de 0,8 g e 1,0 g, verificou-se que a redução de turbidez e cor aparente está relacionada ao tempo de dispersão e não necessariamente ao teor de proteína no meio. Conforme pode ser observado nas Figuras 20, 21, 24 e 25, há uma tendência ao fato de que quanto maior o tempo de dispersão, menor a redução de turbidez e cor aparente nos minutos iniciais de sedimentação.

Tabela 10: Valores médios de teor de proteína das condições de dissolução de proteína e resultado do Teste de Scott-Knott com 5% de significância

Dosagem	Condição de dissolução	Tempo	
		0	
Coagulante Líquido (10 mL L⁻¹)	C1	47,07	H
	C2	45,52	G
	C3	38,73	E
	C4	42,66	E
	C5	47,90	H
	C6	44,69	G
Sachê 0,6 g	C1	29,53	B
	C2	32,15	C
	C3	27,15	A
	C4	33,10	D
	C5	35,48	D
	C6	34,45	D
Sachê 0,8 g	C1	35,17	D
	C2	42,15	F
	C3	35,09	D
	C4	40,80	F
	C5	44,85	G
	C6	46,52	H
Sachê 1,0 g	C1	47,47	H
	C2	43,26	F
	C3	39,05	E
	C4	42,63	F
	C5	52,71	I
	C6	56,99	J

(*) As letras minúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em linha. As letras maiúsculas iguais devem ser interpretadas como semelhança estatística dos dados em coluna

5.2.2 Comparação de eficiência entre os ensaios com e sem as etapas de coagulação e floculação

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de clarificação da água com turbidez obtida sinteticamente, foi possível se determinar as eficiências de cada uma das condições ensaiadas e, assim, fazer uma comparação entre o uso dos sachês com o uso do coagulante líquido. Essas comparações foram feitas entre a água com turbidez sintética e o resultado final da sedimentação.

5.2.2.1 Turbidez

A Tabela 11 mostra os valores iniciais da água com turbidez sintética (antes da etapa de dissolução da proteína), os valores no tempo 0 e 60 da sedimentação e também as eficiências de redução de turbidez nos casos em que houve e nos que não houve as etapas de coagulação e floculação.

A partir da Tabela 11, verifica-se que houve incremento da turbidez durante a etapa de dissolução da proteína em todas as condições, fato que pode ser comprovado através dos valores da água com turbidez sintética e do início da sedimentação. Entretanto, exceto nos casos sem as etapas de coagulação e floculação C1, C2, C3 e C5 para os sachês com 0,6 g e C1 para os sachês de 0,8 g, verificou-se que, apesar desse incremento após a dissolução da proteína, houve redução dos parâmetros ao final da sedimentação.

Tabela 11: Valores iniciais e finais e eficiência de redução de turbidez (NTU)

Dosagem	Condição de dissolução	Sem coagulação e floculação				Com coagulação e floculação			
		Água de turbidez sintética	Sedimentação		Eficiência	Água de turbidez sintética	Sedimentação		Eficiência
			0 min	60 min			0 min	60 min	
Coagulante Líquido (10 mL L⁻¹)	C1	67,20	90,3	5,05	92,49%	65,50	89,10	1,37	97,91%
	C2	65,40	91,05	6,86	89,51%	63,40	87,60	1,41	97,78%
	C3	63,50	91,1	12,5	80,31%	63,50	86,60	1,38	97,83%
	C4	65,60	91,5	3,99	93,92%	64,40	88,25	2,03	96,85%
	C5	65,70	63,9	9,56	85,45%	63,30	87,75	1,31	97,93% ⁽¹⁾
	C6	66,10	91,4	3,44	94,80% ⁽¹⁾	63,50	88,00	1,64	97,42%
Sachê 0,6 g	C1	67,20	81,61	72,7	-8,18% ⁽²⁾	65,50	78,30	15,67	76,08%
	C2	65,40	77,9	70,43	-7,69% ⁽²⁾	63,40	77,57	16,33	74,24%
	C3	63,50	76,2	73,1	-15,12% ⁽²⁾	63,50	77,33	16,63	73,81%
	C4	65,60	77,13	60,33	8,03%	64,40	80,03	13,93	78,37%
	C5	65,70	77,43	71,83	-9,33% ⁽²⁾	63,30	78,80	11,90	81,20%
	C6	66,10	79,67	32,67	50,57% ⁽¹⁾	63,50	80,60	9,18	85,54% ⁽¹⁾
Sachê 0,8 g	C1	67,20	80,63	73,03	-8,68% ⁽²⁾	65,50	81,97	11,38	82,63%
	C2	65,40	80,6	51,8	20,80%	63,40	80,53	3,63	94,27%
	C3	63,50	77,93	14,43	77,28%	63,50	81,27	2,95	95,35%
	C4	65,60	79,93	11,27	82,82%	64,40	81,80	2,83	95,61%
	C5	65,70	79,5	38,07	42,05%	63,30	82,70	2,63	95,85% ⁽¹⁾
	C6	66,10	86,1	6,62	89,98% ⁽¹⁾	63,50	83,77	3,00	95,28%
Sachê 1,0 g	C1	67,20	84,7	45,53	32,25%	65,50	85,77	1,71	97,39% ⁽¹⁾
	C2	65,40	81,95	31,51	51,82%	63,40	81,10	2,25	96,45%
	C3	63,50	75,67	10,96	82,74%	63,50	82,23	3,47	94,54%
	C4	65,60	81,12	6,64	89,88%	64,40	83,93	2,87	95,54%
	C5	65,70	83,27	11,5	82,50%	63,30	88,03	4,86	92,32%
	C6	66,10	89,73	6,66	89,92% ⁽¹⁾	63,50	90,50	4,87	92,33%

⁽¹⁾ Máximas eficiências para cada dosagem

⁽²⁾ Valores negativos de eficiência

Nos casos nos quais não houve as etapas de coagulação e floculação, apenas no coagulante líquido foi observada maior uniformidade de eficiência de redução de turbidez. Esse, além de apresentar maior uniformidade das eficiências, também apresentou as melhores eficiências, sendo que C6 (40 minutos de dissolução com gradiente de 20 s^{-1}) foi a melhor delas.

Ainda nos casos sem coagulação e floculação, para os sachês de 0,6 g, 0,8 g e 1,0 g, a melhor eficiência foi observada em C6 (40 minutos de dissolução com gradiente de velocidade de 20 s^{-1}).

Já nos casos nos quais houve as etapas de coagulação e floculação, foi observada uniformidade de eficiência para todas as dosagens e todas as condições de dissolução da proteína. Para o coagulante líquido e os sachês de 0,6 g, 0,8 g e 1,0 g tem-se as maiores eficiências, respectivamente, as condições C5, C6, C5 e C1.

5.2.2.2 Cor aparente

A Tabela 12 mostra os valores iniciais da água com turbidez sintética (antes da etapa de dissolução da proteína), os valores no tempo 0 e 60 da sedimentação e também as eficiências de redução cor aparente para os casos nos quais houve e nos quais não houve as etapas de coagulação e floculação.

Tabela 12: Valores iniciais e finais e eficiência de redução de cor aparente

Dosagem	Condição de dissolução	Sem coagulação e floculação				Com coagulação e floculação			
		Água de turbidez sintética	Sedimentação		Eficiência	Água de turbidez sintética	Sedimentação		Eficiência
			0 min	60 min			0 min	60 min	
Coagulante Líquido (10 mL L⁻¹)	C1	327,00	389,50	15,00	95,41%	316,00	419,00	3,00	99,05% ⁽¹⁾
	C2	313,00	400,50	23,50	92,49%	307,00	403,50	6,50	97,88%
	C3	307,00	428,50	52,00	83,06%	314,00	397,00	6,50	97,93%
	C4	308,00	409,50	11,50	96,27%	317,00	421,00	8,50	97,32%
	C5	316,00	290,00	43,00	86,39%	311,00	424,50	5,00	98,39%
	C6	315,00	422,00	11,50	96,35% ⁽¹⁾	306,00	415,00	4,50	98,53%
Sachê 0,6 g	C1	327,00	368,33	336,00	-2,75% ⁽²⁾	316,00	361,67	88,67	71,94%
	C2	313,00	356,67	325,00	-3,83% ⁽²⁾	307,00	357,67	60,67	80,24%
	C3	307,00	359,00	350,00	-14,01% ⁽²⁾	314,00	362,67	66,33	78,88%
	C4	308,00	352,67	269,00	12,66%	317,00	361,67	54,33	82,86%
	C5	316,00	360,67	338,33	-7,07% ⁽²⁾	311,00	365,33	46,00	85,21%
	C6	315,00	361,67	138,33	56,09% ⁽¹⁾	306,00	370,33	34,67	88,67% ⁽¹⁾
Sachê 0,8 g	C1	327,00	336,67	331,00	-1,22% ⁽²⁾	316,00	372,00	42,00	86,71%
	C2	313,00	370,67	299,00	4,47%	307,00	242,00	13,67	95,55%
	C3	307,00	361,00	62,67	79,59%	314,00	378,33	14,33	95,44%
	C4	308,00	356,33	44,67	85,50%	317,00	372,67	11,33	96,43% ⁽¹⁾
	C5	316,00	380,67	165,33	47,68%	311,00	389,00	13,33	95,71%
	C6	315,00	391,67	27,00	91,43% ⁽¹⁾	306,00	387,00	13,00	95,75%
Sachê 1,0 g	C1	327,00	403,33	204,33	37,51%	316,00	397,33	7,00	97,78% ⁽¹⁾
	C2	313,00	368,50	135,67	56,65%	307,00	369,00	8,67	97,18%
	C3	307,00	346,33	50,00	83,71%	314,00	386,33	17,67	94,37%
	C4	308,00	372,00	26,67	91,34% ⁽¹⁾	317,00	387,33	13,33	95,79%
	C5	316,00	376,67	48,00	84,81%	311,00	413,33	24,00	92,28%
	C6	315,00	400,00	29,00	90,79%	306,00	424,00	20,33	93,36%

⁽¹⁾ Máximas eficiências para cada dosagem

⁽²⁾ Valores negativos de eficiência

A partir da Tabela 12 foi possível verificar que há maior uniformidade das eficiências para os casos nos quais foram realizadas as etapas de coagulação e floculação. Isso pode indicar que a inclusão dessas etapas no processo de clarificação é a razão desse melhor desempenho.

Também foi observado incremento do valor de cor aparente entre a água com turbidez sintética e o valor do início da etapa de sedimentação.

Assim como para o parâmetro turbidez, os sachês de 0,6 g e de 0,8 g apresentaram eficiência negativa para os casos C1, C2, C3 e C5 para a primeira dosagem e C1 para a segunda. Essas condições representam as situações com menores tempos de dissolução da proteína e menores gradientes de velocidade.

Resumindo os resultados obtidos para as eficiências, estão apresentados na Tabela 13, com as condições que apresentaram melhores eficiências.

Tabela 13: Condições com melhor eficiência

Turbidez		Cor aparente				
	Dosagem	Condição		Dosagem	Condição	
		Tempo de dissolução (minutos)	Gradiente de velocidade (s^{-1})		Tempo de dissolução (minutos)	Gradiente de velocidade (s^{-1})
Sem coagulação/floculação	Coagulante			Coagulante		
	Líquido (10 mL L ⁻¹)	40	20	Líquido (10 mL L ⁻¹)	40	20
	Sachê 0,6 g	40	20	Sachê 0,6 g	40	20
	Sachê 0,8 g	40	20	Sachê 0,8 g	40	20
	Sachê 1,0 g	40	20	Sachê 1,0 g	35	20
Com coagulação/floculação	Coagulante			Coagulante		
	Líquido (10 mL L ⁻¹)	40	10	Líquido (10 mL L ⁻¹)	30	10
	Sachê 0,6 g	40	20	Sachê 0,6 g	40	20
	Sachê 0,8 g	40	10	Sachê 0,8 g	35	20
	Sachê 1,0 g	30	10	Sachê 1,0 g	30	10

5.3 Considerações finais

Tendo em vista os resultados de eficiência que foram obtidos com a utilização dos sachês, indica-se que é possível a utilização dos mesmos para tratamento de água em substituição ao coagulante líquido. Essa substituição pode ser feita visto que em algumas condições de dispersão da proteína, os sachês de 0,8 g e de 1,0 g apresentam eficiências bastante próximas das eficiências encontradas para o coagulante líquido, em especial nos casos nos quais são realizadas as operações unitárias de coagulação e floculação. Além da maior praticidade no seu preparo, os sachês não requerem a utilização de água já tratada (no caso dos ensaios, água destilada), havendo, assim, uma economia de água.

Ainda com relação às vantagens da utilização dos sachês de filtro de papel, observa-se que, por ser composto de materiais biodegradáveis (papel filtro e *Moringa oleifera*), é possível que seja realizada uma avaliação da viabilidade do descarte dos sachês como lixo orgânico.

Outro fator de incentivo ao uso dos sachês de filtro de papel comercial para café são os custos não muito elevados de aquisição dos materiais que são usados para sua confecção. A seguir estão listados os materiais e uma faixa de valores médios encontrados no mercado:

- Coador de papel *Melitta*[®] pequeno nº 100 com 60 unidades: R\$ 2,88 – 4,70
- Pistola de cola quente pequena: R\$ 5,34 – 12,60
- Refil de cola quente (bastão): R\$ 0,45 – 0,80
- Fio de *Nylon*[®] Dourado: R\$ 2,30 – 3,90
- Sementes de *Moringa oleifera* (1000 sementes): R\$ 73,53 – 100,00

6 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho mostram que a utilização dos sachês contendo o pó das sementes de *Moringa oleifera* foi eficiente no processo de clarificação de água com turbidez sintética. Foi possível chegar às seguintes conclusões:

Todos os materiais testados para confecção dos sachês permitiram a liberação de proteína em água destilada, quando contendo 2 g de pó das sementes de *Moringa oleifera*.

Considerando-se os resultados apresentados nos ensaios de 24 horas de dissolução da proteína em água destilada com os 5 tipos de materiais, bem como a praticidade de confecção do sachê, concluiu-se que o melhor material para ser utilizado foi o filtro de papel comercial para café.

Testadas 6 condições de mistura durante a dissolução da proteína, com ensaios que não empregaram as etapas de coagulação e floculação, concluiu-se que, exceto nos sachês com 0,6 g de pó de *Moringa oleifera*, foi verificada eficiências de redução de turbidez e cor aparente próximas à do coagulante líquido.

Apesar dessa eficiência próxima à do líquido, não é recomendada a ausência das etapas de coagulação e floculação, visto que a uniformidade dos resultados foi bastante baixa, tendo grande variação dos resultados.

Para os casos nos quais foram realizadas as etapas de coagulação e floculação, todos os sachês obtiveram eficiência de clarificação de água com turbidez sintética, sendo que quanto maior a massa de pó presente no sachê, maior a eficiência de redução

de cor aparente e turbidez. Eficiências essas bastante próximas das eficiências obtidas nos ensaios com o coagulante líquido.

A realização das etapas de coagulação e floculação resultou em dados mais homogêneos e com maiores eficiências de redução de cor aparente e turbidez.

Apesar de ter havido confinamento do pó dentro dos sachês, ainda assim foi observado incremento nos valores de cor aparente e turbidez após o tempo de dissolução da proteína, aumento esse com valores bastante próximos dos observados no coagulante líquido.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAGLOH, F.K.; BENANG, A. Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 1, p. 119-123, 2009.

ARANTES, C. C.; FRANCISCO, A.R.; SILVA, G. K.; ANTONIAZI, F. G.; PATERNIANI, J. E. S. Uso de solução coagulante a base de sementes de *Moringa oleifera* na inativação de *E. coli* presentes em efluentes de esgoto sanitário. In: IX CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA E XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2010, Vitória, ES. **Anais...** Vitória: 2010.

ARANTES, C. C. **Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas.** Campinas, 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades.** João Pessoa, 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS nº 2.914, 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**, Brasília. Editora do Ministério da Saúde, 2011. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/imprensa/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=43&data=04/01/2012>>. Acesso em 07 fev. 2012.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. K. **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam** - DOI: 10.4025/actascitechnol.v30i2.5493. Acta Scientiarum. Technology, Brasil, 30 out. 2008. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/5493/5493>>. Acesso em: 13 mar. 2010.

TEORIA, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Lima: CEPIS, 1981. 558p., il. (Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente. Serie técnica; v. 13).

DI BERNARDO, L.; GRAHAM, N. J. D.; PATERNIANI, J. E. S. Caracterização de mantas sintéticas não tecidas utilizadas na filtração lenta de águas de abastecimento. In. XXII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1990, Porto Rico.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. 2v., il. ISBN 8576560666.

FERREIRA, P.C.; PIAI, K.A.; TAKAYANAGUI, A.M.M.; SEGURA-MUÑOZ, S.I. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 16, jan./fev. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-11692008000100023&lng=en&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em 10 fev. 2012.

FERREIRA, R. S.; NAPOLEÃO, T. H.; SANTOS, A. F. S.; SÁ, R. A.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G.; MORAIS, M. M. C.; SILVA-LUCCA, R. A.; OLIVA, M. L. V.; COELHO, L. C. B. B.; PAIVA, P. M. G. Coagulant and antibacterial activities of the water-soluble seed lectin from *Moringa oleifera*. **Letters in Applied Microbiology**, v. 53, p. 186-192, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1472-765X.2011.03089.x/pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

FRANCISCO, A. R.; SILVA, G. K.; ARANTES, C. C.; SILVA, M. J.; PATERNIANI, J. E. S. Efeito do tempo de contato e da sedimentação na inativação de bactérias termotolerantes utilizando sementes de *Moringa oleifera*. II Encontro Nacional de Moringa, 2010, Aracaju, SE.

FRANCO, M. **Uso de coagulante extraído de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas**. Campinas, 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de *Moringa*. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.37, n°1, p.106-109. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2006. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/224/219>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

GERDES, G. **Uso das sementes da árvore *Moringa oleifera* para tratamento de águas turvas.** ESPLAR, Fortaleza, 1996 *apud* BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades.** 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

KATAYON, S.; NOOR, M.J.M.M.; ASMA, M.; GHANI, L.A.A.; THAMER, A.M.; AZNI, I.; Ahmad, J.; KHOR, B.C.; SULEYMAN, A.M. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1455-1460, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405003603>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

LIBANIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de agua.** 2. ed. Campinas, SP: Átomo, 2008. 444 p., il. ISBN 9788576700838.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the folin phenol reagent. **Journal Biological Chemistry**, 193, p. 265-275, 1951.

MADRONA, G.S. **Estudo da extração/purificação do composto ativo da semente da *Moringa oleifera* Lam e sua utilização no tratamento de água de abastecimento.** Maringá, 2010. 176f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MADRONA, G.S.; SERPELLONI, G.B.; VIEIRA, A.M.S.; NISHI, L.; CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, R. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. **Water Air Soil Pollut**, p. 409 – 415, 2010. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/nj31703160628687/>. Acesso em: 10 fev. 2012.

MASSCHELEIN, W. J. **Mixing practice in water treatment.** In: *Unit processes in drinking water treatment.* New York, USA: Marcel Dekker Inc., 1992 *apud* LIBANIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 2. ed. Campinas, SP: Átomo, 2008. 444 p., il. ISBN 9788576700838.

MENDES, C. G. N. **Estudo da Coagulação e Floculação de Águas Sintéticas e Naturais com Turbidez e Cor Variáveis.** São Carlos, 1989, Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. *Moringa oleifera* seeds for softening hardwater. **Water Research.** v. 29, n. 4, p. 1099-1104, abril 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549400250B>>. Acesso em 10 fev. 2012.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S.; TALBOT, B.G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid Waters using *Moringa oleifera*. **Water Research,** v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549400161Y>. Acesso em: 10 fev. 2012.

PAVANELLI, G. **Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e Sedimentação de Água com Cor ou Turbidez Elevada.** São Carlos, 2001. 233f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PIO CORRÊA, M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas.** Rio de Janeiro: IBDF, v.5, p. 276-283, 1984. *apud* GALLÃO, M. I., DAMASCENO, L. F., BRITO, E. S. Avaliação Química e Estrutural da Semente de *Moringa*. **Revista Ciência Agronômica,** Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/224/219>. Acesso em: 10 fev. 2012.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, p. 798-805, 2010. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706510001439>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J.M. **Tratamento de água : tecnologia atualizada**. São Paulo, SP: E. Blucher, c1991. 332p., il, grafos e tabs. Inclui bibliografia. ISBN 8521200536.

VOLTRAN, P. E. N. **Avaliação da ruptura e do recrescimento de flocos na eficiência de sedimentação em água com turbidez elevada**. São Carlos, 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, c1996. 243 p., Il (Princípios de tratamento biológico de águas residuárias; v. v.1)

APÊNDICE A

A fim de se quantificar o teor de proteína indiretamente através de valores de absorvância, foi realizado ensaio para correlacionar esses dois parâmetros. Para tal, seguiu-se metodologia utilizada por Madrona (2010).

Primeiramente prepararam-se os reativos que foram utilizados posteriormente:

Reativo A: 2 g de Carbonato de Sódio (Na_2CO_3) seco e 0,02 g de Tartarato Duplo de Sódio e Potássio, ambos secos em estufa, foram adicionados em 100 mL de solução 0,1 N de Hidróxido de Sódio (NaOH);

Reativo B: 0,5 g de Sulfato de Cobre (CuSO_4) e 2 gotas de Ácido Sulfúrico concentrado foram adicionados a 100 mL de água destilada;

Solução AB: Imediatamente antes da sua utilização, misturou-se 50 mL do Reativo A com 1 mL com o Reativo B;

Reativo de Folin: Solução comercial Folin 1 N, conservada ao abrigo de luz e refrigerada;

Tendo-se os reativos prontos, em tubos de ensaio, adicionou-se 1 mL da solução de Albumina Bovina nas seguintes concentrações: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 mg L^{-1} . Considerando-se que o ensaio foi feito em triplicata, totalizaram-se 33 tubos de ensaio.

Em seguida, adicionaram-se a cada tubo 3 mL da Solução AB, homogeneizou-os e os mantiveram em repouso por 10 minutos ao abrigo da luz.

Decorrido esse tempo, adicionou-se 0,3 mL do Reativo de Folin, agitaram-se os tubos para homogeneização e eles foram mantidos em repouso por mais 30 minutos, ao abrigo da luz.

Depois disso, foi feita a leitura em equipamento espectrofotômetro HACH DR/4000U, com comprimento de onda de 760 μm . Os valores obtidos foram utilizados para traçar a curva de correlação de absorbância e teor de proteína (mg L^{-1}), que está representada na Figura 30.

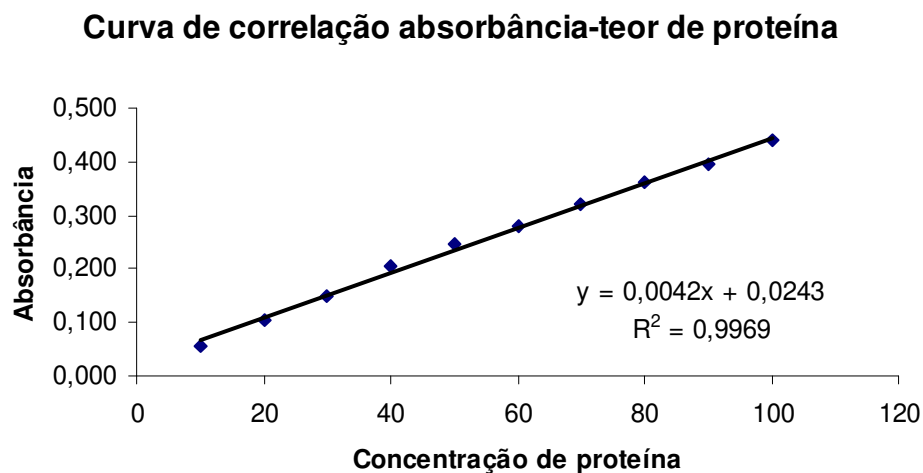


Figura 30: Curva de correlação entre absorbância e teor de proteína

APÊNDICE B

Para a determinação das características dos materiais que foram testados para a confecção dos sachês foi utilizada metodologia adaptada de Di Bernardo *et al.* (1990).

A partir dos materiais, foram feitas 5 amostras de cada um. Essas amostras eram quadradas, com dimensões de 2 x 2 cm². Foram pesadas em balança de precisão e suas espessuras foram medidas com o auxílio de um paquímetro.

Tendo-se a massa (m) e a área (A) das amostras, foi calculada a gramatura (Gr) através da razão entre esses 2 parâmetros:

$$Gr = \frac{m}{A}$$

Os dados coletados e a gramatura já calculada estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados do ensaio de caracterização dos materiais para confecção dos sachês.

MATERIAL	REPETIÇÃO	ESPESSURA	MASSA	GRAMATURA
		(cm)	(g)	(g/m ²)
Não tecido	1	-	0,0163	40,75
	2	-	0,0175	43,75
	3	-	0,0167	41,75
	4	-	0,0166	41,50
	5	-	0,0167	41,75
Filtro de papel	1	-	0,0221	55,25
	2	-	0,0214	53,50
	3	-	0,0210	52,50
	4	-	0,0216	54,00
	5	-	0,0221	55,25
Manta branca	1	0,08	0,0510	127,50
	2		0,0422	105,50
	3		0,0493	123,25
	4		0,0430	107,50
	5		0,0489	122,25
Manta cinza	1	0,22	0,1449	364,25
	2		0,1376	344,00
	3		0,1355	338,75
	4		0,1404	351,00
	5		0,1465	366,25
Manta preta	1	0,18	0,1012	253,00
	2		0,1177	294,25
	3		0,1054	263,50
	4		0,1068	267,00
	5		0,1133	283,25