

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

GUILHERME CARVALHO DE ANDRADE

**EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE FLOTAÇÃO E FILTRAÇÃO COM
USO DE COAGULANTE NATURAL E QUÍMICO NO TRATAMENTO
DE EFLUENTE DE LATICÍNIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2015

GUILHERME CARVALHO DE ANDRADE

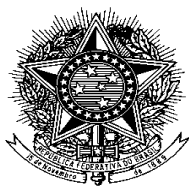
**EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE FLOTAÇÃO E FILTRAÇÃO COM
USO DE COAGULANTE NATURAL E QUÍMICO NO TRATAMENTO
DE EFLUENTE DE LATICÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina
Pereira.

Coorientador: Prof. MSc. Bruno de
Oliveira Freitas

LONDRINA
2015



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná**



Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Eficiência dos processos de flotação e filtração com uso de coagulante natural e químico no tratamento de efluente de laticínio

por

Guilherme Carvalho de Andrade

Monografia apresentada no dia 15 de junho de 2015 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
(UTFPR)

Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família pelo absoluto apoio em todos os momentos de minha vida e de minha graduação. Em especial, agradeço aos meus pais, Toninho e Darlene, por toda a dedicação, paciência, carinho e companheirismo e a minha irmã, Camila, pela essencial ajuda. Pai, com todo carinho lhe agradeço, você é meu exemplo e meu herói. Mãe, agradeço por todos os conselhos e pela paciência em todos os momentos. Sem vocês nada disso seria possível.

Agradeço a minha orientadora Professora Dra. Edilaine Regina Pereira, pela paciência na orientação, por todo o aprendizado proporcionado e, acima de tudo, pela confiança.

Agradeço ao professor MSc. Bruno de Oliveira Freitas por partilhar do seu conhecimento e disponibilizar seu tempo.

Agradeço também ao professor Joelmir Borssoi pelo fundamental auxílio com a análise estatística do trabalho.

Agradeço a Empresa que me cedeu seu efluente para a realização deste trabalho.

Agradeço também a todos os meus amigos e colegas de classe que de alguma forma me ajudaram. Em especial, agradeço a Isabela Souza, Victor Frederice, Jaqueline dos Santos, Marcela Soriani, não só pela ajuda prática, mas também pelas conversas e incentivo quando mais precisei.

Agradeço aos professores: Joseane Debora Peruço Theodoro e Ajadir Fazolo não só pela leitura e correção, mas por me ajudarem no aprimoramento deste trabalho.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a todos os professores que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, peço minhas desculpas àquelas pessoas que não foram citadas nesse texto, mas que terão minha eterna gratidão.

RESUMO

ANDRADE, Guilherme C. **Eficiência dos processos de flotação e filtração com uso de coagulante natural e químico no tratamento de efluente de laticínio**. 2015. 80 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

A indústria de laticínio constitui uma parcela significativa da indústria alimentícia mundial, principalmente em volume de produção. Essa alta produção traz consigo uma elevada geração de efluentes com grande potencial poluidor, em decorrência, principalmente, da grande quantidade de matéria orgânica presente neste efluente. Existem, porém, alguns problemas associados ao uso de coagulantes químicos no tratamento de efluentes, o que tem despertado o interesse de pesquisadores em buscar formas alternativas para seu uso. Dentre as formas mais estudadas, podem-se citar os coagulantes naturais, como é o caso da semente de *Moringa oleifera*, que já vem se destacando tanto no tratamento de água como no tratamento de efluente. O objetivo deste trabalho foi realizar o tratamento do efluente de laticínio através das técnicas de coagulação/floculação/flotação/filtração, utilizando o coagulante *Moringa oleifera* e o coagulante químico policloreto de alumínio (PAC), comparando seus desempenhos. Por meio de ensaios com o floteste e com filtros de areia foram aplicadas diferentes concentrações de cada coagulante ao efluente em questão e avaliou-se a eficiência dos tratamentos na remoção dos parâmetros pH, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, DQO e série de sólidos. Constatou-se que o coagulante químico teve forte influência sob o pH e a condutividade elétrica, ao contrário do coagulante natural. Para os outros parâmetros avaliados, de modo geral, as concentrações mais elevadas dos coagulantes apresentaram melhor eficiência. Para a DQO, o coagulante natural obteve 16,82% de remoção após a filtração na concentração 3. A *Moringa oleifera* apresentou uma remoção de 34,7% para cor aparente, 40,4% para turbidez e 92,8% para os sólidos voláteis. Já o PAC, obteve remoção de 90,5%, 90,85% e 72,3% para os mesmo parâmetros, sendo, de maneira geral, mais eficiente que a *Moringa oleifera*. Apesar do coagulante natural não ter sido mais eficiente que o coagulante químico, os resultados positivos de eficiência de remoção com o uso da *Moringa oleifera* a tornam uma potencial alternativa no tratamento de efluente de laticínio, podendo esta ser utilizada como um complementar ao coagulante químico.

Palavras – chave: Laticínio, *Moringa oleifera*, Policloreto de Alumínio, Tratamento de efluentes.

ABSTRACT

ANDRADE, Guilherme C. **Efficiency of flotation and filtration processes with the use of natural and chemical coagulant in the treatment of dairy effluent.** 2015. 80 f. TCC (Degree in Environmental Engineering), Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2015.

The dairy industry constitutes a significant portion of the worldwide food industry, particularly when it comes to production volume. This high production also brings an elevated sewage production with big pollutant potential, due mainly to the large amount of organic matter present in the effluent. However, there are some problems associated with the use of chemical coagulants in wastewater treatment, which has aroused the interest of researchers to seek alternative ways for its use. Among the most studied forms, there may be mentioned natural coagulants such as *Moringa oleifera* seed, which has stood out in the water treatment as well in effluent treatment. The aim of this study was the treatment of dairy effluent through the techniques of coagulation / flocculation / flotation / filtration using *Moringa oleifera* coagulant and chemical coagulant polyaluminum chloride (PAC), comparing their performances. Through trials with floteste and sand filters, different concentrations of each coagulant were applied to the present effluent and the effectiveness of treatment in removing the parameters pH, apparent color, turbidity, electrical conductivity, COD and number of solid was evaluated. It was found that the chemical coagulant had a strong influence on the pH and electrical conductivity, unlike natural coagulant. For the other parameters evaluated, in general, the highest concentrations of coagulant showed better efficiency. For COD, the natural coagulant reached 16.82% removal after filtration the concentration 3. *Moringa oleifera* showed a removal of 34.7% to the apparent color, 40.4 % to for turbidity and 92.8% for volatile solids. To PAC, obtained removal of 90.5%, 90.85% and 72.3% for the same parameters, and, in general, more efficient than *Moringa oleifera*. Although the natural coagulant was not as efficient as the chemical coagulant, the positive results of removal efficiency with the use of *Moringa oleifera* make it a potential alternative for the treatment of dairy industry effluent that can be used as a supplement to the chemical coagulant.

Key-words: Dairy, *Moringa oleifera*, Polyaluminium chloride, Effluent treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas genéricas da indústria de produtos lácteos.....	15
Figura 2 - Árvore e flor de <i>Moringa oleifera</i>	25
Figura 3 - Sementes de <i>Moringa oleifera</i> com e sem casca.....	26
Figura 4 - Laboratório de Saneamento do Campus Londrina – UTFPR.....	34
Figura 5 - Equipamento utilizado no ensaio de coagulação, floculação e flotação (Floteste e câmara de pressurização)	36
Figura 6 - Colunas de filtração utilizadas no ensaio	38
Figura 7 - Variação do pH em função do processo de tratamento para <i>Moringa oleifera</i> (a) e PAC (b).	45
Figura 8 - Porcentagem de remoção do parâmetro cor aparente em função do processo de tratamento para <i>Moringa oleifera</i> (a) e PAC (b).	48
Figura 9 - Porcentagem de remoção do parâmetro turbidez em função do processo de tratamento para <i>Moringa oleifera</i> (a) e PAC (b).	50
Figura 10 - Porcentagem de remoção do parâmetro DQO em função do processo de tratamento para <i>Moringa oleifera</i> (a) e PAC (b).	52
Figura 11 - Variação da condutividade elétrica em função do processo de tratamento para <i>Moringa oleifera</i> (a) e PAC (b).	54
Figura 12 - Porcentagem de remoção do parâmetro série de sólidos em função do processo de tratamento para <i>Moringa oleifera</i> (a) e PAC (b).	57
Figura 13 - Valores absolutos do parâmetro série de sólidos em função do processo de tratamento para <i>Moringa oleifera</i> (a) e PAC (b).	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização dos efluentes brutos das indústrias de laticínios	14
Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluentes	32
Tabela 3 – Concentrações utilizadas para cada coagulante	35
Tabela 4 – Variação da inclinação da barra coletora em função do tempo	39
Tabela 5 - Modelo adotado para organizar os resultados obtidos com a análise de variância	42
Tabela 6 - Caracterização do efluente bruto	44
Tabela 7- Resultados da análise de variância para a variável pH.....	61
Tabela 8 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos - pH.....	61
Tabela 9 - Resultados da análise de variância para a variável cor aparente	62
Tabela 10 - Resultados da análise de variância para a variável turbidez.....	63
Tabela 11 - Comparações de médias pelo teste de Tukey - turbidez	63
Tabela 12 - Resultados da análise de variância para a variável DQO	64
Tabela 13 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos - DQO	64
Tabela 14 - Resultados da análise de variância para a variável condutividade elétrica	65
Tabela 15 - Comparações de médias pelo teste de Tukey - condutividade elétrica..	65
Tabela 16 - Resultados da análise de variância para a variável pH.....	66
Tabela 17 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos - pH.....	66
Tabela 18 - Resultados da análise de variância para a variável cor aparente	67
Tabela 19 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – cor aparente	67
Tabela 20 - Resultados da análise de variância para a variável turbidez.....	68
Tabela 21 - Comparações de médias pelo teste de Tukey – turbidez.....	68
Tabela 22 - Resultados da análise de variância para a variável DQO	69

Tabela 23 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – DQO	69
Tabela 24 - Resultados da análise de variância para a variável condutividade elétrica	70
Tabela 25 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – condutividade elétrica.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades físico-químicas do PAC.....	40
Quadro 2 - Parâmetros analisados.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 EFLUENTE DE LATICÍNIO	14
3.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTE	16
3.2.1 Processo de coagulação/floculação	17
3.2.1.1 Coagulação	17
3.2.1.2 Floculação	19
3.2.2 Flotação.....	20
3.2.3 Filtração.....	22
3.3 USO DE COAGULANTES	23
3.3.1 Coagulantes Naturais.....	24
3.3.1.1 <i>Moringa oleifera</i>	25
3.3.2 Coagulantes Químicos	27
3.3.2.1 Policloreto de Alumínio (PAC)	28
3.4 PARÂMETROS ANALISADOS	29
3.4.1 Parâmetros físicos.....	29
3.4.2 Parâmetros químicos.....	30
3.4.3 Taxa de filtração.....	31
3.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	31
3.5.1 Reuso da água	32
4 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1 LOCAL DE COLETA	34
4.2 LOCAL DO EXPERIMENTO	34
4.3 ENSAIO DE LABORATÓRIO	35
4.3.1 Pré-ensaio	35
4.3.2 Ensaio Floteste.....	35
4.3.3 Ensaio de filtração.....	37
4.3.4 Preparo dos coagulantes.....	39
4.3.4.1 <i>Moringa oleifera</i>	39
4.3.4.2 Policloreto de Alumínio (PAC)	40

4.4 PARÂMETROS ANALISADOS	40
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	44
5.2 ANÁLISE DO PARÂMETRO pH	44
5.3 ANÁLISE DO PARÂMETRO COR APARENTE.....	47
5.4 ANÁLISE DO PARÂMETRO TURBIDEZ	49
5.5 ANÁLISE DO PARÂMETRO DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	52
5.6 ANÁLISE DO PARÂMETRO CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	54
5.7 ANÁLISE DO PARÂMETRO SÉRIE DE SÓLIDOS.....	55
5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	60
5.8.1 Resultados para flotação.....	61
5.8.1.1 Análise de variância para o parâmetro pH	61
5.8.1.2 Análise de variância para o parâmetro cor aparente	62
5.8.1.3 Análise de variância para o parâmetro turbidez	62
5.8.1.4 Análise de variância para o parâmetro DQO	63
5.8.1.5 Análise de variância para o parâmetro condutividade elétrica	65
5.8.2 Resultados para filtração.....	65
5.8.2.1 Análise de variância para o parâmetro pH	65
5.8.2.2 Análise de variância para o parâmetro cor aparente	67
5.8.2.3 Análise de variância para o parâmetro turbidez	68
5.8.2.4 Análise de variância para o parâmetro DQO	68
5.8.2.5 Análise de variância para o parâmetro condutividade elétrica	69
6 CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

O constante aumento populacional traz grandes consequências para a humanidade, dentre elas podemos destacar o crescimento da demanda por produtos e serviços visando atender a necessidade da população. De acordo com dados divulgados pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2013, a população mundial era de 7,2 bilhões de habitantes e a estimativa era que alcançasse o valor de 9 bilhões até 2050. Esse crescimento acelerado nos mostra que há uma grande necessidade de investimentos na agricultura e pecuária objetivando aumentar a produção de alimentos para suprir a demanda populacional.

A indústria de laticínio constitui uma parcela significativa da indústria alimentícia mundial, principalmente em volume de produção. Essa alta produção traz consigo uma elevada geração de efluentes com grande potencial poluidor, sendo até mesmo mais poluente que o esgoto doméstico, especialmente quando ocorre o descarte do soro juntamente com os demais efluentes da indústria.

A pecuária leiteira no Brasil hoje se apresenta em contínua expansão, partindo de uma produção anual de 24,6 bilhões de litros em 2005 para 35 bilhões de litros em 2013, o que representa um crescimento de 29,7% (EMBRAPA, 2013).

Tal produção gera elevada quantidade de efluentes, constituídos principalmente por leite e seus subprodutos, que se lançados sem o devido tratamento prévio podem causar diversos impactos ambientais, como o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do corpo receptor, alteração da temperatura da água, eutrofização dos corpos hídricos e aumento da concentração dos sólidos solúveis (SANTOS, 2006). Ocasionalmente, portanto, uma diminuição significativa na qualidade da água, afetando a fauna, a flora e os seres humanos ali presentes.

Com isso, se faz necessário o tratamento adequado para os efluentes de laticínio devido, principalmente, a sua elevada carga orgânica, visando minimizar os impactos ambientais causados e atingir os padrões de lançamento exigidos pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430, tornando o efluente adequado para descarte ou até mesmo para reuso.

Existem, porém, alguns problemas associados ao uso de coagulantes químicos no tratamento de efluentes, o que tem despertado o interesse de pesquisadores em buscar formas alternativas para o uso destes coagulantes. Dentre

as formas mais estudadas, pode-se citar o extrato da semente de *Moringa oleifera*, que já vem se destacando tanto no tratamento de água como no tratamento de efluente. Essa semente, além de ser um coagulante natural, apresenta importantes vantagens em relação aos coagulantes convencionais, sendo ela biodegradável, de baixo custo e capaz de gerar um menor volume de lodo.

Desta forma, esta pesquisa busca tratar o efluente de laticínio através dos processos de coagulação/floculação/flotação/filtração, testando o uso da *Moringa oleifera* e do Policloreto de alumínio como coagulantes, comparando a eficiência de ambos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de aplicação de *Moringa oleifera* (coagulante natural) e do Policloreto de Alumínio (PAC) (coagulante químico) no tratamento de efluente de laticínio pelos processos de flotação e filtração.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Avaliar os resultados de eficiência dos tratamentos de flotação e filtração usando o coagulante químico (PAC) e o coagulante natural (*Moringa oleifera*);
- Determinar a influência de diferentes concentrações de *Moringa oleifera* e de PAC no processo de flotação e filtração;
- Comparar a eficiência de remoção dos parâmetros – pH, cor aparente, turbidez, demanda química de oxigênio, condutividade elétrica e série de sólidos;
- Analisar estatisticamente os resultados obtidos através do software R.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 EFLUENTE DE LATICÍNIO

Em todo o mundo, a indústria de alimentos é a maior consumidora de água e geradora de efluentes por unidade produzida em decorrência da necessidade constante de limpeza dos equipamentos e da grande quantidade utilizada no processamento de seus produtos. Na indústria de laticínios, o volume de águas residuais geradas pode variar de 0,2 à 10 litros por litro de leite processado, sendo este efluente a principal fonte poluidora desse tipo de indústria (TCHAMANGO et al., 2010; VOURCH et al., 2008).

Os efluentes gerados pelos laticínios se caracterizam por apresentar elevada carga orgânica e de nutrientes. São constituídos, basicamente, por quantidades variáveis de leite diluído, materiais sólidos sobrenadantes (principalmente substâncias oleosas) de variadas fontes, detergentes utilizados na limpeza, lubrificantes utilizados nos equipamentos, areia e poeira removidos durante a lavagem de pisos e recipientes e esgotos domésticos (FARIA et al., 2004).

Na Tabela 1 são apresentados os valores de alguns parâmetros físico-químicos encontrados no efluente bruto da indústria de laticínios.

Tabela 1 - Caracterização dos efluentes brutos das indústrias de laticínios

Parâmetro	Faixa de variação	
	(1)	(2)
Sólidos suspensos (mgL ⁻¹)	24-5700	100-1000
Sólidos suspensos dissolvidos (mgL ⁻¹)	135-8500	100-2000
DQO (mgL ⁻¹)	500-4500	6000
DBO5 (mgL ⁻¹)	450-4790	4000
Proteína (mgL ⁻¹)	210-560	ND
Gordura/ Óleos e graxas (mgL ⁻¹)	35-500	95-550
Carboidratos (mgL ⁻¹)	252-931	ND
Amônia - N (mgL ⁻¹)	10-100	ND
Nitrogênio (mgL ⁻¹)	15-180	116
Fósforo (mgL ⁻¹)	20-250	0,1-46
Sódio (mgL ⁻¹)	60-807	ND
Cloretos (mgL ⁻¹)	48-469	ND
Cálcio (mgL ⁻¹)	57-112	ND
Magnésio (mgL ⁻¹)	22-49	ND
Potássio (mgL ⁻¹)	11-160	ND

pH	5,3 a 9,4	1 a 12
Temperatura	12-40°C	20-30°C

Fonte: Adaptado Guia técnico ambiental de produtos lácteos. CETESB (2008).

(1) Environment Agency of England and Wales, 2000

European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control Jan/2006

(2) ABIQ

Os processos industriais de um laticínio (Figura 1) podem variar muito conforme o tipo de produto fabricado, não existindo, portanto, estudos que apresentem a composição detalhada do efluente gerado. Os valores reais de cada indústria somente podem ser obtidos por monitoramento feito na própria indústria. Contudo, pode-se definir qual a possível origem do valor encontrado para cada parâmetro monitorado, como o potencial Hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

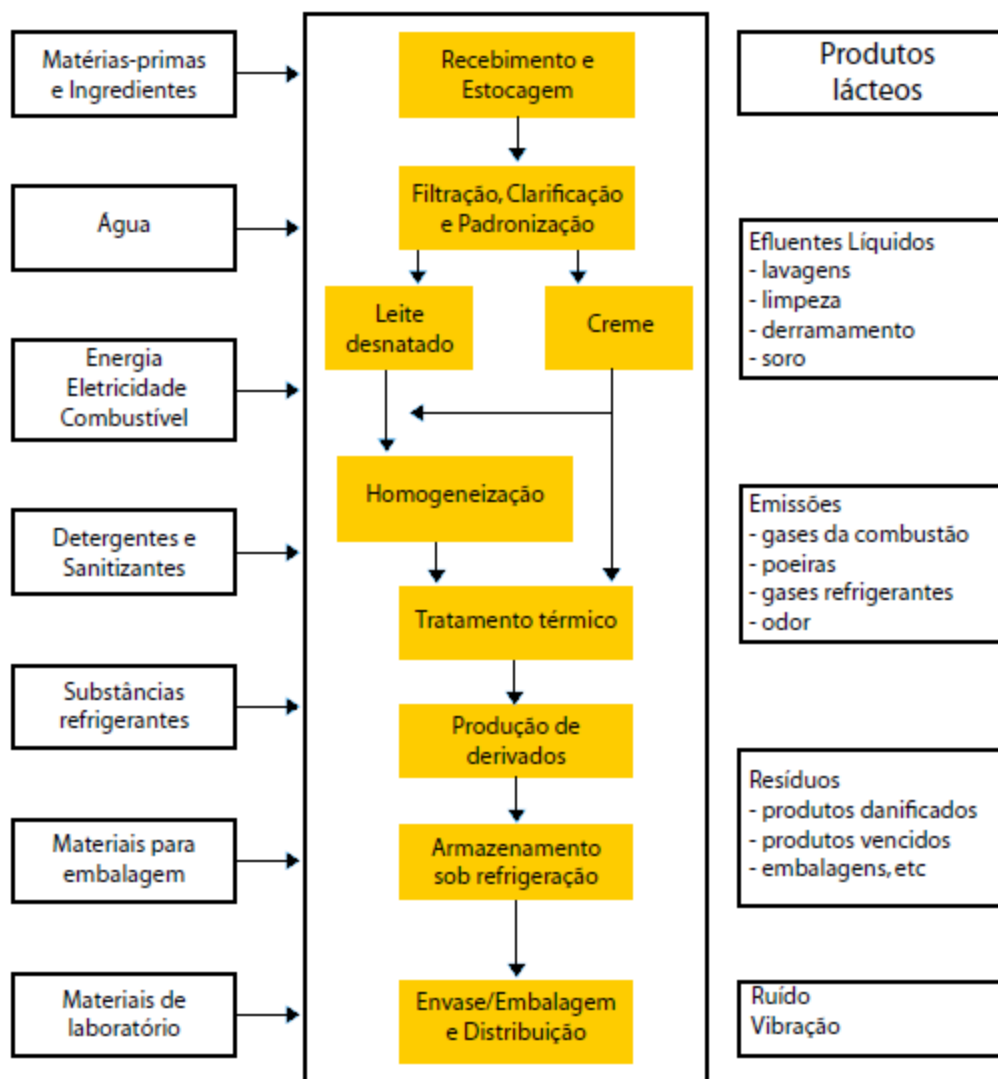


Figura 1 - Etapas genéricas da indústria de produtos lácteos

Fonte: Guia técnico ambiental de produtos lácteos. CETESB (2008).

O pH do efluente sofre alterações de acordo com o agente de limpeza (ácido e/ou alcalinos) e o desinfetante utilizados nas operações de limpeza, sendo mais comumente usado para este fim a soda caustica, ácido nítrico, ácido fosfórico e hipoclorito de sódio (ANDRADE, 2011). Com relação à DQO e DBO, o uso de desanilizantes também pode contribuir para o seu aumento, sendo que essa contribuição não costuma ultrapassar os 10%.

3.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTE

Para o tratamento de efluentes existem diversas técnicas disponíveis, podendo ser enquadradas em físicas, químicas e biológicas ou, como na maioria dos casos, uma combinação de todas elas com o objetivo de aperfeiçoar o tratamento visto que cada técnica possui sua limitação, eficiência e custo diferenciados (VIEIRA et al., 2010).

O tratamento biológico tem a função de reduzir a matéria orgânica presente no efluente através do metabolismo oxidativo e de síntese dos microrganismos. É geralmente utilizado neste tipo de efluente devido à presença de uma elevada quantidade de matéria orgânica de fácil biodegradabilidade (SANTOS et al., 2009). Os tratamentos biológicos podem ser aeróbios, quando há presença de oxigênio e anaeróbios, quando não há presença de oxigênio.

Dentre os tratamentos aeróbios podemos citar: os lodos ativados, filtro biológico e lagoa de estabilização aeróbia. A escolha da aplicação de determinado tratamento e o seu sucesso estão associados às características físico-químicas do efluente, que devem ser estudadas previamente.

Outro tratamento muito utilizado é a coagulação química seguida de sedimentação, o qual reduz o teor de óleos e graxas, a quantidade de matéria orgânica, assim como, a turbidez do efluente visando à adequação dos parâmetros às normas ambientais de lançamento em corpos receptores (SANTOS et al., 2009).

Tratamentos físicos e químicos normalmente antecedem o tratamento biológico, servindo assim como tratamento primário. A eficiência do tratamento primário traz grandes benefícios já que reduz consideravelmente o tamanho, o

capital e os custos de operação de uma planta de tratamento biológico, pois diminui a quantidade de sólidos suspensos, óleos e graxas presentes no efluente (FERREIRA, 2012).

Com relação aos tratamentos físicos utilizados na etapa primária, pode-se citar a flotação e a sedimentação, e como tratamento químico a coagulação/floculação que tem por finalidade remover material sólido em suspensão e/ou dissolvido (VAZ, 2009).

3.2.1 Processo de coagulação/floculação

Os processos de coagulação/floculação são largamente utilizados para o tratamento de efluentes já que apresentam alta eficiência e facilidade de operação. A etapa de coagulação/floculação objetiva aglomerar as impurezas em suspensão presentes no efluente e que se encontram em estado coloidal, para que possam, posteriormente, ser removidas por decantação, flotação e/ou filtração.

Durante esse processo, ocorre a ligação de pequenas partículas dispersas que são aglomeradas permitindo assim sua fácil retirada por métodos físicos como sedimentação e filtração. Para que ocorram os processos é necessária adição de agentes químicos, como sais de ferro ou de alumínio, ou agentes orgânicos, como o tanino e a *Moringa oleifera* (FORTINO, 2012).

3.2.1.1 Coagulação

A coagulação é utilizada para neutralizar cargas de materiais suspensos ou em formas coloidais que não decantam ou que levam muito tempo para decantar. Os coloides são partículas que tem tamanho na faixa de 0,1nm até 1,0nm e causam cor e turbidez no efluente (PENNA, 2009). Atualmente a coagulação é considerada o resultado da ação individual ou conjunta de quatro mecanismos distintos: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

- Compressão da camada difusa: esse mecanismo é responsável por desestabilizar as partículas coloidais por meio da adição de íons de carga contrária. Segundo Pavanelli (2001), este fenômeno se dá devido à elevada concentração de cargas positivas que causam um excesso de íons na camada difusa, fazendo com que ocorra uma redução no volume da esfera para que ela se mantenha eletricamente neutra. De acordo com Aisse et al. (2001), este é o único dos quatro mecanismos que não ocorre em tratamento de águas residuárias.
- Adsorção e neutralização da carga: na dispersão coloidal, após a adição do coagulante, ocorre interações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente (PAVANELLI, 2001). Di Bernardo e Dantas (2005) citam que o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas deve ser utilizado quando após a coagulação ocorra a filtração direta, fazendo com que as partículas desestabilizadas fiquem retidas no interior do meio filtrante.
- Varredura: Neste mecanismo poderá ocorrer a formação de precipitados conforme a quantidade de coagulante utilizada no tratamento, o pH da mistura e a concentração de alguns íons formados no meio (SILVA, 2005). Pavanelli (2001) cita que os flocos resultantes deste processo são maiores do que aqueles formados quando se utiliza o mecanismo de adsorção e neutralização, resultando, em velocidades de sedimentação maiores.
- Adsorção e formação de pontes: esse mecanismo ocorre quando há a adição de polímeros orgânicos reduzindo assim as dosagens de coagulantes. Nessa situação, a coagulação pode ocorrer por intermédio da formação das pontes químicas quando as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das diversas cadeias dos polímeros (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em geral possuem carga elétrica negativa em água. Quando duas partículas coloidais se aproximam, em decorrência do movimento browniano responsável pela sua constante movimentação, agem sobre

elas forças de atração (Forças de Van de Waals) e forças de repulsão, impossibilitando a união entre as partículas e a formação de flocos.

Segundo Fortino (2012), coloides são aglomerados de átomos ou moléculas nos quais a gravidade exerce pouco ou nenhum efeito em sua sedimentação, fazendo com que permaneçam em suspensão, caracterizando assim a estabilidade. Esta estabilidade se explica pela repulsão mútua existente entre as partículas coloidais devido à presença de cargas elétricas negativas em cada partícula. A coagulação, portanto, é o processo de neutralização das forças de repulsão, permitindo assim a desestabilização dos coloides.

A adição de agentes coagulantes, porém, não assegura por si só a eficiência do processo de desestabilização dos coloides, sendo necessário o controle das condições hidrodinâmicas do sistema. Para que o processo de coagulação funcione de maneira satisfatória, a mistura do agente coagulante utilizado deve ser efetiva, isto é, deve ser disperso rapidamente (mistura rápida) por todo o tanque de coagulação. Esta etapa ocasiona a imediata dispersão dos reagentes permitindo que os reagentes e as partículas possam se associar, fazendo com que a repulsão mútua entre as partículas coloidais seja interrompida. Com isso, ocorre a formação dos coágulos que afetam diretamente o processo seguinte, a floculação (FORTINO, 2012).

O processo de agitação deve ser rápido, podendo variar desde décimos de segundos até próximo de 100 segundos, dependendo das características da mistura como pH, temperatura, quantidade de impurezas, concentração de coagulantes, etc (FELICI, 2010).

3.2.1.2 Floculação

A floculação é o processo que sucede a coagulação. Consiste na ocorrência de choques entre as partículas formadas durante a etapa de coagulação com o objetivo de formar flocos ainda maiores, com maior volume e densidade, o que aumenta, conseqüentemente, a eficiência do processo de separação. Para que esse processo ocorra adequadamente, é necessário que haja a agitação da água causando o choque entre as partículas. A agitação do meio nesta etapa, porém,

deve ser suave (mistura lenta), suficiente apenas para causar a aproximação e a aglomeração das partículas e dos flocos, de forma a não romper os flocos formados anteriormente (CASSINI, 2008).

Para Libânio (2010), a floculação é uma das operações unitárias da clarificação que se constitui um conjunto de fenômenos físicos, nos quais se tenciona em última instância reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida.

A ocorrência do transporte das partículas desestabilizadas para a formação dos flocos se dá por meio de três fenômenos: floculação pericinética (movimento browniano), floculação ortocinética e sedimentação diferencial. Na interação pericinética, a movimentação errática das partículas, que favorece sua colisão, é causada pela energia térmica; na interação ortocinética, as diferenças de velocidade dentro do líquido, tanto no escoamento linear quanto no turbulento, produzem o encontro das partículas e na sedimentação diferencial, o encontro das partículas se dá graças as diferentes velocidades de sedimentação (VOLTAN, 2007).

3.2.2 Flotação

A flotação é uma operação utilizada para separar o sólido da fase líquida por ascensão com o objetivo de remover as partículas suspensas presentes no meio, ocorrendo de maneira inversa à sedimentação. As partículas sólidas são levadas até a superfície do líquido por meio da aderência dos sólidos às bolhas de gás, sendo o ar atmosférico o gás comumente utilizado (AISSE, 2002).

As bolhas de ar ao se aderirem às partículas sólidas, no processo de flotação, reduzem sua densidade específica, tornando-as menos densas que a água. O mesmo ocorre no caso da existência de flocos, o ar fica retido nos intervalos existentes entre as partículas que formam o floco, diminuindo também sua densidade. Essa ação do ar faz com que as partículas sólidas sejam carregadas para a superfície do líquido em decorrência da força de empuxo, permitindo assim que o material suspenso seja removido (CASSINI, 2008).

De acordo com Brião (2000), a flotação é largamente utilizada para o tratamento de efluentes com altas concentrações de sólidos suspensos, óleos e graxas, sendo muito utilizada nas indústrias alimentícias, como o laticínio. Aisse et al. (2001) cita que entre os benefícios da flotação está a redução dos teores de gases odoríferos, além de elevar o nível de oxigênio dissolvido, o que resulta num efluente de melhor qualidade.

Existem diversas técnicas de flotação diferenciadas de acordo com a forma que as bolhas de ar são geradas e o diâmetro de cada bolha, como a eletroflotação, a flotação por ar disperso e flotação por ar dissolvido. Existe ainda a flotação natural, onde as partículas têm o peso específico inferior ao do meio em que estão inseridas, fazendo com que elas subam à superfície naturalmente apenas pela ação gravitacional, sem a necessidade das bolhas de ar (FAGUNDES, 2010).

Ainda segundo Fagundes (2010), a eletroflotação é comumente utilizada para o tratamento de efluentes radioativos, despejos com tintas e emulsões de pintura, na qual as bolhas de ar (principalmente hidrogênio e oxigênio) são formadas pela eletrólise da água.

Na flotação por ar disperso, as bolhas de ar são formadas através da agitação do líquido, à pressão atmosférica, e o diâmetro das bolhas produzidas é relativamente grande, cerca de 1000 μm , se comparadas com o tamanho das partículas sólidas (MAIA e BEZERRA, 1981).

Na flotação por ar dissolvido, as bolhas são formadas através da supersaturação do líquido, com o ar, podendo ser realizada a vácuo ou a pressão. No caso da floculação a vácuo, o líquido é saturado com ar, à pressão atmosférica e, posteriormente, é aplicado vácuo ao líquido, quando são formadas as bolhas de ar. Na flotação por ar dissolvido por pressurização, ou simplesmente flotação por ar dissolvido (FAD), o ar é injetado na entrada de uma câmara de saturação, enquanto o líquido se encontra sob pressão. No interior dessa câmara ocorre a dissolução de ar na massa líquida pressurizada, sendo, em seguida, o líquido exposto a condições atmosféricas. A redução brusca de pressão provoca o desprendimento do ar na forma de minúsculas bolhas, que aderem às partículas em suspensão, flutuando à superfície (FAGUNDES, 2010).

A FAD dá maior flexibilidade ao processo, pois possibilita trabalhar em uma ampla faixa de pressão, permitindo um controle mais eficiente do volume de ar

liberado que, juntamente com o tamanho reduzido das bolhas, constitui a grande vantagem no tratamento de efluentes (SOBRINHO et al., 2001).

3.2.3 Filtração

A filtração é o processo de purificação onde a água a ser tratada passa através de substâncias porosas, tendo como principal função a remoção das partículas responsáveis pela turbidez. Cabe à filtração corrigir as possíveis falhas ocorridas nos processos de coagulação, floculação e sedimentação/flotação, assegurando assim a qualidade ao tratamento. Leitos de areia são largamente utilizados, apresentando baixo custo de implantação e resultados satisfatórios, o leito filtrante pode ser ainda formado por carvão (antracito), por carvão sobre areia (leito duplo) e por carvão, areia e brita, formando um leito misto (PENNA, 2009).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a filtração é considerada uma das etapas mais importantes no processo de tratamento, é um processo físico em que a água atravessa um leito filtrante, normalmente formado por areia e carvão, de maneira que as partículas suspensas e coloidais e os microrganismos sejam removidos, tornando a água mais limpa.

Podem-se classificar os filtros quanto à velocidade com que a água transpõe o leito filtrante; se a velocidade for baixa, o filtro é denominado de filtro lento. Caso a velocidade seja elevada, o filtro é denominado filtro rápido. Os filtros rápidos são compostos por uma camada de areia, ou em alguns casos por uma camada de um meio poroso mais grosso e menos denso (carvão) colocado sobre uma camada de areia, permitindo uma filtração melhor. As granulometrias dos materiais devem ter valores diferentes a fim de evitar a mistura das camadas filtrantes (NETTO, 1991). Pode-se classificar o filtro ainda quanto ao fluxo da água durante a filtração, se o fluxo se dá de baixo para cima, classifica-se como filtração direta ascendente e, se no sentido oposto, classifica-se como filtração direta descendente (ALCANTARA, 2010).

A remoção das partículas durante o processo de filtração com ação de profundidade se dá por meio de mecanismos complexos e que são influenciados em especial por características físicas e químicas das partículas, da água, do meio

filtrante, da taxa de filtração e do método de operação dos filtros. Conceitua-se filtração como resultado da ação de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento (DI BERNARDO, 2003).

Os mecanismos de transporte atuam na condução das partículas suspensas presentes na água para as proximidades da superfície dos filtros (grãos de antracito, areia ou outro material granular). Essas partículas podem manter-se aderidas aos filtros por meio de forças superficiais, que resistem às forças de cisalhamento resultantes das características do escoamento ao longo do meio filtrante, o que é chamado de mecanismo de aderência. Caso as forças de cisalhamento superem as forças de aderência, ocorrerá o mecanismo de desprendimento. Se a taxa de filtração (vazão afluyente dividida pela área do filtro em planta), ou velocidade de aproximação, permanecer constante, a velocidade de escoamento nos poros, denominada velocidade intersticial, aumenta em decorrência das partículas retidas e causa o arrastamento das partículas para subcamadas inferiores (filtro descendente) ou superiores (filtro ascendente) do meio filtrante, podendo ocasionar o fenômeno conhecido como transpasse (DI BERNARDO, 2003).

3.3 USO DE COAGULANTES

Os processos de coagulação e floculação são sensíveis a diversos fatores como o tipo e a quantidade do efluente, o pH do efluente, a origem das substâncias de cor e turbidez, temperatura, entre outras. O tipo de coagulante e sua dosagem são definidos principalmente pelas características do efluente e pela viabilidade econômica, sendo necessária então a realização de teste de coagulação para determinar as dosagens ótimas a serem usadas (VAZ, 2009).

Muitos agentes coagulantes são usados nos processos de tratamento de águas residuárias, como os coagulantes inorgânicos (sais de alumínio e ferro), polímeros orgânicos, sintéticos e naturais.

O uso de polímeros sintéticos ou naturais (amidos em geral) pode auxiliar no processo de coagulação, floculação ou no posterior processo de filtração. No primeiro caso, o uso de polímeros catiônicos tem permitido, em muitos casos, uma redução significativa na dosagem de coagulante primário quando este é um sal de

alumínio ou de ferro. Na floculação, os polímeros auxiliam no aumento da velocidade de sedimentação dos flocos, na redução das forças de cisalhamento nos flocos durante a movimentação da água floculada e também na diminuição da dosagem de coagulante primário. Como auxiliar na filtração, os polímeros reduzem ainda a chance de ocorrência do transpasse de partículas e contribuem para que sejam usadas taxas de filtração maiores que as tradicionais (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

3.3.1 Coagulantes Naturais

Os coagulantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos químicos, apresentando boa biodegradabilidade, baixa toxicidade e um reduzido volume de lodo residual produzido (CARDOSO et al., 2008). Segundo Gallão et al. (2006), os coagulantes naturais mostram também como vantagem o fato de não alterarem significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento, além de não apresentarem problemas de corrosão.

Borba (2001) cita que apesar das vantagens, a utilização de coagulantes naturais apresenta alguns problemas para uso em sistemas de tratamento, já que existem dificuldades de sua obtenção em qualidade e quantidade suficiente para operar o sistema. Além disso, o seu uso pode conferir algumas inconveniências como o aumento da matéria orgânica presente na água, que pode fermentar anaerobicamente, causando mau cheiro.

Os coagulantes de origem orgânica naturais são formados por compostos constituídos de extensas cadeias moleculares, dotados de cargas positivas ou negativas, sendo conhecidos universalmente por polieletrólitos (BORBA, 2001).

3.3.1.1 *Moringa oleifera*

Em diversos países do mundo, diferentes espécies de plantas já são utilizadas como coagulantes naturais para o tratamento de água e efluentes.

A *Moringa oleifera* pertence à família *Moringaceae*, que é composta de apenas um gênero (*Moringa*) e 14 espécies. É uma planta originária da Índia e que já se espalhou por todo o mundo, especialmente nos países tropicais, como o Brasil (FRANCO, 2010). Possui pequeno porte, rápido crescimento e grande adaptabilidade, podendo ser cultivada nos mais diversos solos (Figura 2). Apresenta ainda tolerância à seca, crescendo em regiões desde subtropicais secas e úmidas, até tropicais secas e florestas úmidas (FERREIRA, 2012). Sua folhagem é perene (dependendo do clima) e possui folhetos de 1 a 2 cm de diâmetro, as flores são de cor branca ou bege e apresentam tons de amarelo na base (VERSIANI, 2008).



Figura 2 - Árvore e flor de *Moringa oleifera*
Fonte: Francisco (2012) e Versiani (2008).

É importante destacar que o uso do extrato da semente de *Moringa oleifera* como coagulante natural (Figura 3) apresenta vantagens importantes em relação ao uso dos coagulantes convencionais, pois pode ser utilizado em uma ampla faixa de pH entre 4,0 e 12,0 é biodegradável, de baixo custo e gera menores volumes de lodo (VAZ, 2009).



Figura 3 - Sementes de *Moringa oleifera* com e sem casca
Fonte: Francisco (2012).

Segundo Jahn¹ (1989) apud Ferreira (2012), o composto coagulante presente nas sementes de *Moringa oleifera* foi isolado e seis polipeptídios foram identificados, formados por diversos aminoácidos. A ação coagulante das sementes deve-se a presença de uma proteína catiônica de alta massa molecular, responsável por desestabilizar as partículas dispersas na água, normalmente partículas coloidais de carga negativa, formando os flocos.

O mecanismo de coagulação/floculação gerado pela proteína presente nas sementes de *Moringa oleifera* é semelhante ao encontrado nos polieletrólitos, que são polímeros orgânicos de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou natural (SANTOS FILHO, 1985). De acordo com Borba (2001), quando o processo de coagulação/floculação é realizado por polieletrólitos, não acontecem reações de neutralização entre o coagulante e a água, formando compostos gelatinosos, como ocorreria com os coagulantes convencionais.

Quando usada para o tratamento de água residuais da indústria de laticínio, a *Moringa oleifera* apresentou eficiências de remoção de até 98% para cor e turbidez, valores esses alcançados utilizando 0,2g de *Moringa oleifera* para 0,2 L de água residual preparada com leite em pó e água de torneira, em proporção de 1g/L (VIEIRA *et al.*, 2010).

Okuda *et al.* (1999) testou diversas formas de extrair o princípio ativo presente nas sementes de *Moringa oleifera* e comparou a eficiência da coagulação de cada amostra obtida. Foi possível concluir que o princípio ativo extraído com NaCl atingiu um resultado 7,4 vezes melhor que o extraído com água destilada em

¹ JAHN, S.A.A. **Monitored water coagulation with Moringa seeds in village households.** GTZ: Gate. Eschborn, n. 1, p. 40-41, 1989.

relação a coagulação para remoção partículas de argila branca suspensas. Não se obteve, entretanto, diferenças de eficiência entre os extratos obtidos utilizando KNO_3 , KCl e NaNO_3 .

Ainda segundo Okuda et al. (1999), o extrato de semente de *Moringa oleifera* como coagulante demonstrou uma eficiência na remoção de turbidez entre 80 e 99% para uma água turva sintética preparada por meio da adição do minério caulim.

Na coagulação, a *M. oleifera* demonstrou praticamente não afetar o pH e a condutividade do efluente tratado, sendo essa uma grande vantagem, pois reduz os gastos com produtos químicos para corrigir o pH. Em relação ao lodo, a utilização desse coagulante reduz também o volume gerado se comparado com coagulantes à base de alumínio, além de não apresentar problemas para descarte (BHATIA² et al., 2007 apud SCHMITT, 2010).

3.3.2 Coagulantes Químicos

Segundo Vaz (2009), existem disponíveis no mercado diversos coagulantes de origem química, sendo os mais comumente utilizados para o tratamento de água e esgoto os sais de alumínio e ferro, principalmente por seu baixo custo e sua capacidade coagulante já comprovada. Entretanto, pesquisas têm apontado algumas desvantagens no uso de coagulantes químicos, como problemas de saúde causados pelo alumínio residual na água tratada, produção de altos volumes de lodo, alteração da alcalinidade do meio, ocasionando custos adicionais com produtos químicos para a correção do pH, entre outros.

² BHATIA, S.; OTHMAN, Z.; AHMAD, A. B. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seed's as natural coagulant. Journal of Hazardous Materials, n. 145, p. 120-126, 2007.

3.3.2.1 Policloreto de Alumínio (PAC)

O hidróxicloreto de alumínio ou policloreto de alumínio (PAC), na maior parte dos casos, revela-se como um coagulante químico superior ao sulfato de alumínio. Para a eliminação de partículas suspensas como as coloidais, sua eficiência é, em média, 1,5 a 2,5 vezes maior em igualdade de dosagem em íon Al^{3+} à dos outros sais de alumínio habitualmente utilizados (PAVANELLI, 2001).

De acordo com Pavanelli (2001), o hidróxicloreto de alumínio é um sal prepolimerizado com alta basicidade; devido a essa basicidade, o sal, durante a hidrólise, libera, em igualdade de dosagem de íons metálicos, uma quantidade de ácido sensivelmente menor do que o cloreto de alumínio e dos coagulantes convencionais como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Isso acarreta uma menor variação de pH no meio, reduzindo assim a quantidade de produtos químicos necessários para a correção do mesmo.

Ainda segundo Pavanelli (2001), o PAC apresenta vantagens no processo de floculação em relação aos demais coagulantes inorgânicos devido ao seu estado polimerizado, às características de sua estrutura molecular condensada com pontes de hidrogênio entre os átomos de alumínio e, principalmente, à maior concentração do elemento ativo Al_2O_3 .

O PAC é amplamente utilizado no tratamento de efluentes industriais, contendo em sua estrutura valores do ingrediente ativo entre 10 e 25% de Al_2O_3 . Tem como principal vantagem a capacidade de gerar flocos em uma grande faixa de pH, contando com uma eficiência superior a dos sais de alumínio na remoção de sólidos e gerando um menor volume de lodo (FONSECA, 2011).

Delgado et al. (2003) compararam a eficiência de remoção da turbidez do PAC com relação aos sais de alumínio, obtendo valores de 95% para a remoção utilizando o policloreto de alumínio. Vale ressaltar, entretanto, que o uso do PAC deve ser feito de maneira controlada em função dos produtos clorados e outros subprodutos prejudiciais resultantes do processamento do polímero, que podem permanecer na água e causar danos à saúde da população.

3.4 PARÂMETROS ANALISADOS

A qualidade da água de um determinado recurso hídrico pode ser avaliada através dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, tais parâmetros possuem o objetivo de identificar as condições em que a água se encontra. A seguir são apresentados alguns parâmetros de qualidade da água que serão analisados nesse trabalho.

3.4.1 Parâmetros físicos

- Turbidez: representa o grau de redução que a luz sofre ao atravessar certa quantidade de água. Os sólidos suspensos são os principais responsáveis pela turbidez causando difusão e a absorção da luz. Valores elevados podem reduzir a ação do cloro em processos de desinfecção e servir de abrigo para microrganismos (HAGEMANN, 2009).
- Cor: está relacionada à presença de diversos materiais dissolvidos, tais como: corantes orgânicos sintéticos ou residuais, metais, compostos húmicos e outros produtos resultantes da biodegradação. A coloração da água influencia principalmente no aspecto estético do corpo hídrico (FREITAS, 2009). A cor pode ser classificada em aparente e verdadeira. No valor da cor aparente pode estar presente a parcela causada pela turbidez e quando esta é removida por filtração ou centrifugação tem-se a cor verdadeira (HAGEMANN, 2009).
- Série de Sólidos: A quantidade e a natureza dos sólidos nas águas é muito variável, abrangendo valores de 20 a 1.000 mg/L. Quanto à natureza, de maneira geral, são divididos em sólidos suspensos (resíduo não filtrável) e sólidos dissolvidos (resíduo filtrável). Os sólidos totais que representam a soma dos sólidos dissolvidos, mais sólidos suspensos, afetam a dureza da água e aumentam com o grau de poluição. Tanto os sólidos suspensos

quanto os sólidos dissolvidos podem ser fixos ou voláteis. Dentro do resíduo fixo, encontra-se o predomínio de substâncias inorgânicas, enquanto o resíduo volátil constitui-se, principalmente, de matéria orgânica (CERETTA, 2004).

- Condutividade elétrica: é a capacidade da água de conduzir corrente elétrica. A condutividade elétrica tem relação direta com a presença de sólidos dissolvidos e também pode ser utilizada como medida indireta da presença de sais (HAGEMANN, 2009).

3.4.2 Parâmetros químicos

- Demanda química de oxigênio (DQO): usada para estimar o teor de oxigênio equivalente para oxidar a matéria orgânica presente na amostra através de um agente químico oxidante. Quanto maior for o teor de oxigênio equivalente de um determinado efluente, maior será sua DQO, e conseqüentemente, maior será o seu poder poluente. Os valores encontrados para DQO fornecem uma boa noção da quantidade total de matéria orgânica do efluente visto que este método consegue uma oxidação eficiente de toda a matéria orgânica e até de alguns constituintes inorgânicos (CASSINI, 2008).
- pH: representa a quantidade de íons hidrogênio H^+ . Os sólidos dissolvidos e gases dissolvidos são os principais constituintes que alteram o pH. Sua faixa de variação é de 0 a 14. O valor do pH indica a condição de acidez ou alcalinidade da água. Valores baixos de pH (menores que 7) no pH indicam potencial corrosividade e agressividade da água, o que pode levar à deterioração das tubulações e peças por onde essa água passa. Valores elevados de pH podem levar ao surgimento de incrustações em tubulações (HAGEMANN, 2009).

3.4.3 Taxa de filtração

A taxa de filtração ou taxa de aplicação superficial recomendada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 13969 (1997), para o filtro de areia de fluxo intermitente em pós-tratamento deve se limitar a $100 \text{ L.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ quando provindo de efluente do tanque séptico, e caso seja oriundo de um tratamento aeróbio, pode-se dobrar este valor. Em locais onde a temperatura é abaixo de 10°C , a recomendação é que os valores diminuam para 50 e $100 \text{ L.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$.

Entretanto, a United States Environmental Protection Agency - USEPA (1999), sugere que as taxas de aplicação variem de 80 à $200 \text{ L.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ quando a alimentação provém de um tanque séptico, e 200 a $400 \text{ L.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ quando for proveniente de processos aeróbios. Sendo essas recomendações propostas para países de clima frio.

A taxa de aplicação hidráulica superficial (Equação 1) refere-se à quantidade de efluente aplicado diariamente por unidade de área do meio filtrante.

$$q_s = \frac{Q}{A} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

q_s : taxa de aplicação hidráulica superficial ($\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$)

Q: vazão afluente ao filtro (m^3 / d)

A: área da superfície filtrante (m^2)

3.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011) dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução nº 357 CONAMA (2005). O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta

Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

O Estado do Paraná conta ainda com a Resolução Estadual CEMA nº 081 de 19 de outubro de 2010 (CEMA, 2010) que dispõe sobre critérios e padrões de ecotoxicidade para o controle de efluentes líquidos lançados em águas superficiais.

Esta Resolução fixa critérios e padrões de emissão relativos à ecotoxicidade de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas doces, salinas e salobras no estado do Paraná, para fins de licenciamento e automonitoramento exigido pelo órgão ambiental competente e Instituto das Águas do Paraná na outorga e cobrança sobre o lançamento de efluentes.

Em relação à legislação estadual, o Estado do Paraná conta também com a Resolução Estadual CEMA nº 070/2009 (CEMA, 2009) que define em seu anexo 7 as condições e padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais, existindo um padrão de lançamento específico para os efluentes de laticínio.

Os padrões de lançamento de efluente de laticínio são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluentes

Parâmetros	Valores máximos
Turbidez	Até 100 NTU
Cor verdadeira	Até 75 mg Pt Co/L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
Demanda química de oxigênio (DQO)	200 mg/L ⁽¹⁾
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)	50 mg/L ⁽¹⁾
pH	5,0 a 9,0

Fonte: CEMA 070/2009⁽¹⁾; CONAMA 357/2005.

3.5.1 Reuso da água

Segundo Rebouças et al. (2006), a água no setor industrial possui diversas aplicações, podendo ser usada como matéria-prima e reagente em diversas

reações de hidratação e hidrólise; na lavagem de gases e sólidos; como solvente de substâncias sólidas, líquidas ou gasosas; como veículo para o transporte de materiais sólidos e em operações que envolvem trocas de calor como as caldeiras.

O crescimento populacional impulsiona o aumento da produtividade levando as indústrias a buscarem novas formas para reduzir o consumo de água, sendo considerado como principal alternativa o reuso da água nos processos produtivos. Além dos ganhos ambientais decorrentes da diminuição do volume de água captado e da quantidade de efluentes lançados em corpos d'água, o reuso da água ainda traz benefícios econômicos à empresa, reduzindo os custos de produção, o que aumenta sua competitividade (GOMES, 2012).

No Brasil existem basicamente duas normas que tratam de reuso de água: a Resolução CNRH nº 54/2005 e a Norma NBR 13969/1997, que tem abrangência nacional. O Conselho Nacional de Recursos Hídrico (CNRH) na resolução Nº 54, de 28 de novembro de 2005, estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso de água não potável de água, citando ainda quatro modalidades para prática de reuso: para fins agrícolas, ambientais, indústrias e aquicultura. Essa resolução é uma norma geral, enquanto a NBR 13969, que não é específica para reuso, tem um item dedicado ao tema, inclusive com a definição de classes de água de reuso e indicação de padrões de qualidade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE COLETA

O efluente utilizado neste experimento foi coletado em uma empresa de laticínios localizada na região de Londrina – PR. Este foi adquirido da estação de tratamento de efluentes da empresa em questão e foi coletado antes de passar por qualquer etapa de tratamento.

4.2 LOCAL DO EXPERIMENTO

A amostra de efluente foi coletada em três galões de 20 L e encaminhada para o Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Londrina (Figura 4), localizado à latitude $23^{\circ}18'25,7''S$ e longitude $51^{\circ}06'57,6''O$, onde passou por ensaio e análise experimental. As amostras foram mantidas em refrigeração a $4^{\circ}C$ como recomendado por APHA (2012), a fim de evitar a degradação do efluente até o momento dos ensaios. No momento dos ensaios, o efluente encontrava-se a temperatura ambiente.



Figura 4 - Laboratório de Saneamento do Câmpus Londrina – UTFPR

4.3 ENSAIO DE LABORATÓRIO

4.3.1 Pré-ensaio

Um pré-ensaio de coagulação/floculação foi realizado com objetivo de determinar a faixa de dosagem de trabalho para cada coagulante estudado (*Moringa oleifera* e PAC).

Os testes de pré-ensaio foram executados utilizando béqueres contendo 100 ml do efluente. Em cada béquer foram adicionadas diferentes concentrações do coagulante e foi verificado o momento em que ocorreu a coagulação/floculação para cada concentração em teste. Com isso, as concentrações que obtiveram melhores resultados com relação à formação de flocos foram utilizadas posteriormente. As concentrações encontradas estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Concentrações utilizadas para cada coagulante

Concentrações	<i>Moringa oleifera</i>	PAC (Al₂O₃)
1	2000 mg/L	700 mg/L
2	2500 mg/L	1050 mg/L
3	3000 mg/L	1400 mg/L

Fonte: Autoria própria (2015).

4.3.2 Ensaio Floteste

Os ensaios foram realizados em triplicata no equipamento de reatores estáticos chamado Floteste, fabricado pela Nova Ética, Modelo 218- LDB/06, formado por três jarros em acrílico com capacidade útil de 2 litros cada um e que permite gradiente de velocidade entre 10 e 2000 s⁻¹.

A base de cada jarro é composta por duas placas acrílicas dispostas em paralelo e espaçadas em 5 cm. A placa inferior possui canais que permitem a condução e distribuição da água previamente saturada com maior rapidez, preenchendo o espaço abaixo da placa superior que contém cerca de 121 orifícios

de 2 mm de diâmetro cada, espaçados em 10 mm, e que proporcionam perda de carga suficiente para que ocorra a distribuição da água saturada. O ponto de coleta de amostra utilizado situa-se a 8 cm de altura acima da base do jarro.

Cada jarro do floteste conta com duas saídas (superior e inferior) ligadas a tubos coletores por meio de mangueiras de silicone para a coleta de amostras. Os tubos são confeccionados em aço inox e devem estar fixados a uma barra para que a coleta seja feita de forma simultânea, chamada de barra de coleta (DANTAS, 2008).

Para a saturação da água o equipamento possui uma câmara de pressurização que apresenta capacidade útil para 2 litros de água, sendo a saturação da mesma resultante da inserção de ar proveniente de um compressor de ar. A parte superior da câmara é dotada de válvula reguladora de pressão com filtro, registros de agulha para ajuste fino da pressão na câmara e manômetro, dentre outros itens. A base da câmara possui três registros de esfera com funções distintas: regular a entrada de água clarificada na câmara, a entrada de ar e a saída da água saturada para os jarros. O floteste e a câmara de pressurização que foram utilizados estão presentes na Figura 5.



Figura 5 - Equipamento utilizado no ensaio de coagulação, floculação e flotação (Floteste e câmara de pressurização)
Fonte: Casagrande (2014).

Cada um dos três jarros foi preenchido com 2 litros de efluente com o auxílio de uma proveta de 1 litro. As amostras foram previamente agitadas dentro dos galões a fim de homogeneizar o efluente.

As condições experimentais para o processo de coagulação/floculação utilizando o extrato de semente de *Moringa oleifera* e o PAC foram: gradiente de mistura rápida (100 rpm), tempo de mistura rápida (3 min), gradiente de mistura lenta (10 rpm), tempo de mistura lenta (15 min) (MADRONA et al., 2010). Em ambos os casos os agentes coagulantes foram lançados simultaneamente dentro dos jarros assim que as pás do floteste foram acionadas.

Na etapa de flotação foi seguida a metodologia descrita por Ariano (2009) sendo fixados os seguintes parâmetros: pressão de saturação (5 bar), tempo de saturação (5 minutos), taxa de recirculação (20%) e velocidade de flotação de ($16\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$). O tempo para a coleta das amostras foi calculado dividindo-se a altura de saída do jarro do floteste (8 cm) pela velocidade de flotação, de acordo com o método de Dantas (2008). Não foi levada em consideração a diluição do efluente causada pela água de recirculação.

Após o abastecimento dos jarros com o efluente, a câmara de saturação foi preenchida com água e posta em funcionamento seguindo os parâmetros descritos acima. Vencida essa etapa e concluído o processo de coagulação/floculação, as mangueiras da câmara de saturação foram abertas até atingir a marca de 20% no jarro, referente à recirculação, para que ocorra a flotação, sendo o efluente da flotação coletado após o período de 30 segundos em béqueres de 250 mL. Concluída essa etapa, o efluente foi encaminhado diretamente para os filtros.

4.3.3 Ensaio de filtração

Para o ensaio de filtração foi utilizada uma estrutura de madeira adaptada para fixar os filtros de areia abaixo do floteste de forma que o efluente saia do floteste diretamente para os filtros. Os leitos filtrantes apresentam-se confeccionados em tubos de policloreto de vinila (PVC) de 20 mm de diâmetro interno configurando um modelo de leito fixo com fluxo descendente, com três colunas em paralelo, como

observado na Figura 6. Os tubos possuem 50 cm de comprimento com 18 cm preenchidos por areia. As granulometrias dos 3 filtros foram as mesmas, sendo 3 cm de cascalho e 18 cm de areia com granulometria na faixa de 0,425 à 0,600 mm.



Figura 6 - Colunas de filtração utilizadas no ensaio
Fonte: Casagrande (2014).

O efluente a ser tratado entrou pelo topo da coluna e foi retirado pelo fundo. Os grãos do leito filtrante foram retidos por uma tela metálica e pela camada de cascalho presente na extremidade inferior da coluna.

Para a coleta do efluente, o sistema conta com uma mangueira de silicone com um pequeno tê de ferro na extremidade. Este tê possui uma das saídas fechadas, a outra conectada a mangueira de silicone que esta ligada a extremidade inferior da coluna e a terceira é a saída do efluente dos filtros, a qual encontra-se acima do topo do meio filtrante, com o objetivo de evitar a sub-pressão no mesmo.

Foram realizados testes de vazão no floteste para determinar a taxa de aplicação superficial ou taxa de filtração. Foi utilizada uma proveta graduada para medir o volume de água que saia do floteste a cada minuto, atentando-se para o fato de que a cada minuto a carga hidráulica nos jarros reduzia-se e conseqüentemente a vazão também. Para contornar esse problema, a barra coletora do floteste teve sua inclinação aumentada com o passar do tempo a fim de manter a taxa de

aplicação superficial dentro da faixa estabelecida de 200 a 345 m³. m⁻².d⁻¹, como descrito por Mefcalf e Eddy (2003). O controle da angulação da barra coletora foi feito por meio de um transferidor fixado na extremidade da barra e as angulações utilizadas podem ser vistas na Tabela 4.

Antes da coleta das amostras da filtração, esperava-se um período de cinco minutos para que o efluente passasse pelo leito filtrante, eliminando a água deionizada residual da retro-lavagem. Os procedimentos de retro-lavagem foram feitos com água deionizada e o auxílio de uma seringa de 60 mL que proporcionava boa pressão sobre o leito filtrante, o que era suficiente para expandir o meio granular.

Tabela 4 – Variação da inclinação da barra coletora em função do tempo

Tempo (minutos)	Angulação ⁽¹⁾ (graus)
0 - 2	70
2 - 4	60
4 - 6	50

⁽¹⁾ Angulação com relação a horizontal

Fonte: Autoria própria (2015).

4.3.4 Preparo dos coagulantes

4.3.4.1 *Moringa oleifera*

Estão disponíveis na literatura diversos processos de extração do componente ativo de *Moringa oleifera*, porém, o procedimento utilizado neste trabalho foi baseado no estudo de Schmitt (2010).

O solução coagulante foi preparada utilizando-se 10 gramas de sementes de *Moringa oleifera* descascadas e 500 mililitros de solução salina de NaCl à 1,0 M.

Para efetuar a mistura da solução de NaCl com as sementes de *Moringa oleifera* foi utilizado um liquidificador. Após a homogeneização da fase sólida com a fase aquosa, a solução foi mantida em agitação magnética por 30 minutos, período

necessário para extração dos compostos ativos. Passado esse período, a solução foi imediatamente utilizada nos ensaios de coagulação/floculação.

4.3.4.2 Policloreto de Alumínio (PAC)

O PAC utilizado neste trabalho foi fornecido pela empresa Rinen Ind. Com. de produtos químicos, na forma líquida. O lote apresenta concentrações de Al_2O_3 da ordem de 16% a 20%. Devido às altas concentrações da matéria ativa presente no produto foi necessário realizar uma diluição com água destilada, seguindo a proporção de 50 mililitros de PAC para 50 mililitros de água.

O Quadro 1 apresenta as características físico-químicas do coagulante.

Análise	Especificação
Aspecto	Líquido amarelo a castanho
pH à 25°C	< 3,5
Densidade	1,20 - 1,40 g/cm ³
Solubilidade em água	Solúvel
Matéria ativa	9 – 19 % Al_2O_3

Quadro 1 - Propriedades físico-químicas do PAC

4.4 PARÂMETROS ANALISADOS

As análises das amostras coletadas antes e após os ensaios serão realizadas segundo os procedimentos descritos pelo Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) e são descritas no Quadro 2.

Parâmetro	Equipamentos	Metodologia
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH 4000	2120 C
Turbidez	Turbidímetro HACH 2100AN	2030 B
pH	Peagâmetro mPA-210	4500-H+ B
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 A
Série de sólidos	Estufa SL 100, Mufla MA 385, Balança AW 220	2540 A
Demanda Química de Oxigênio	Biodigestor Thermo Digestor 462, Espectrofotômetro HACH 4000	5220 A

Quadro 2 - Parâmetros analisados

Fonte: APHA (2012)

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3. O modelo estatístico considerou, além do efeito dos fatores Coagulante (em dois níveis) e Concentração (em três níveis), o efeito da interação entre os fatores. Assim, o modelo estatístico multiplicativo fica dado pela Equação 2:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

- Y_{ijk} = observação correspondente à r -ésima unidade experimental submetida ao i -ésimo nível do fator Coagulante e j -ésimo nível do fator Concentração;
- μ = média global comum a todas as observações;
- α_i = efeito do i -ésimo nível do fator Coagulante;
- β_j = efeito do j -ésimo nível do fator Concentração;
- $\alpha\beta_{ij}$ = é o efeito de interação entre o i -ésimo nível do fator Coagulante e o j -ésimo nível do fator Concentração;
- e_{ijk} = componente do erro aleatório associado à observação Y_{ijk} .

O modelo está sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^2 \alpha_i = 0 \quad \sum_{j=1}^3 \beta_j = 0 \quad \sum_{i=1}^2 \alpha\beta_{ij} = 0 \quad \sum_{j=1}^3 \alpha\beta_{ij} = 0,$$

Para: $i = 1, 2$ (nº de níveis de α : coagulante);

$j = 1, 2, 3$ (nº de níveis de β : concentração do coagulante);

$k = 1, 2, 3$ (nº de repetições).

As suposições associadas ao modelo são que os erros, e_{ijk} , são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (IID), com distribuição normal de probabilidade, com média zero e variância constante (homocedasticidade) – $e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$.

Para a realização da análise de variância e comparação das médias nos três parâmetros, considerou-se um nível de significância de 5%. Os resultados da análise de variância foram agrupados em uma tabela conforme proposto por Martins (2006). A Tabela 5 apresenta o modelo utilizado no trabalho.

Tabela 5 - Modelo adotado para organizar os resultados obtidos com a análise de variância

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _c	Valor-P
Coagulante					
Concentração					
Coagulante x Concentração					
Resíduo					
Total					

Fonte : Martins (2006)

Notas: GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma dos Quadrados; QM = Quadrados Médios; F_c = F Calculado.

Para a análise da Tabela 5 deve-se destacar a coluna Valor-P que verifica a interação entre os fatores coagulante e concentração considerando o nível de significância adotado. Se o Valor-P for menor que 0,05 (nível de significância), indica que o grau de interação entre os dois fatores é significativo.

As comparações de médias são realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa, que são chamados de desdobramentos. As comparações de médias foram realizadas segundo o teste de Tukey, que compara a diferença entre duas médias (contraste) com a diferença mínima significativa (Δ), apresentada na equação 3. Duas médias são consideradas diferentes quando o contraste é maior ou igual a Δ .

$$\Delta = q \sqrt{\frac{QM_{res}}{r}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

- q : é a amplitude total estudentizada (tabelado);
- QM_{res} : é o quadrado médio do resíduo;
- r : representa o número de repetições;

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente bruto utilizado para o desenvolvimento do trabalho foi caracterizado por meio das metodologias descritas anteriormente no item 4.4 e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Caracterização do efluente bruto

Parâmetros	Valores máximos
Turbidez	303 NTU
Cor aparente	975 mg PtCo.L ⁻¹
Sólidos totais	6110 mg.L ⁻¹
Sólidos fixos	5050 mg.L ⁻¹
Sólidos voláteis	1060 mg.L ⁻¹
Condutividade elétrica	11,08 mS.cm ⁻¹
Demanda química de oxigênio (DQO)	896 mg.L ⁻¹
pH	12,69

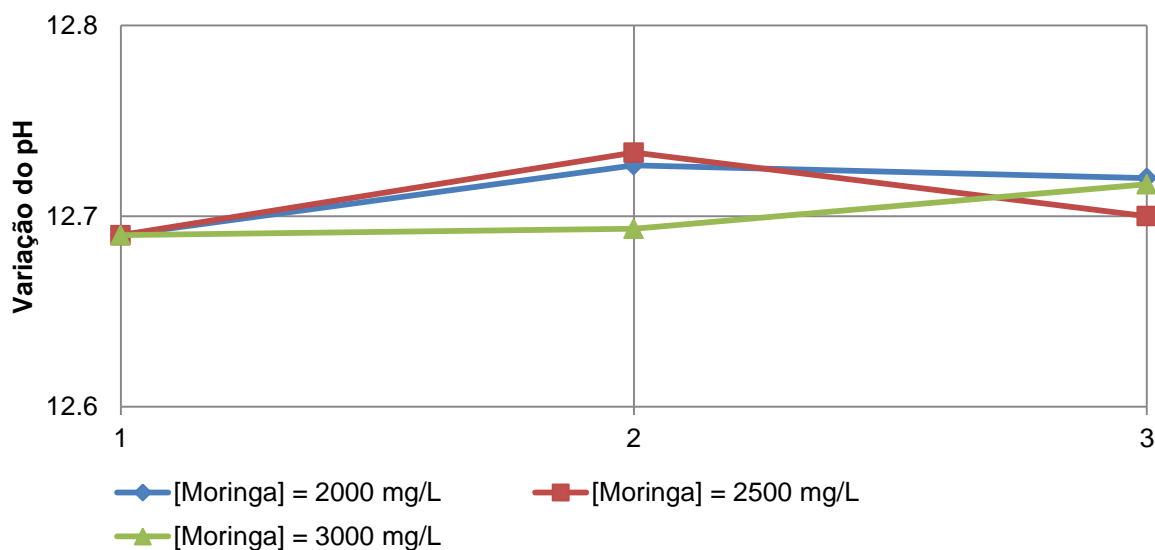
Fonte: Aatoria própria (2015)

Por meio da aplicação da metodologia descrita no item 4.3 foram realizados os ensaios para cada coagulante e os resultados obtidos foram organizados da seguinte forma: análise do parâmetro pH (5.2), análise do parâmetro cor aparente (5.3), análise do parâmetro turbidez (5.4), análise do parâmetro demanda química de oxigênio (5.5), análise do parâmetro condutividade elétrica (5.6), análise do parâmetro série de sólidos (5.7) e análise estatística (5.8).

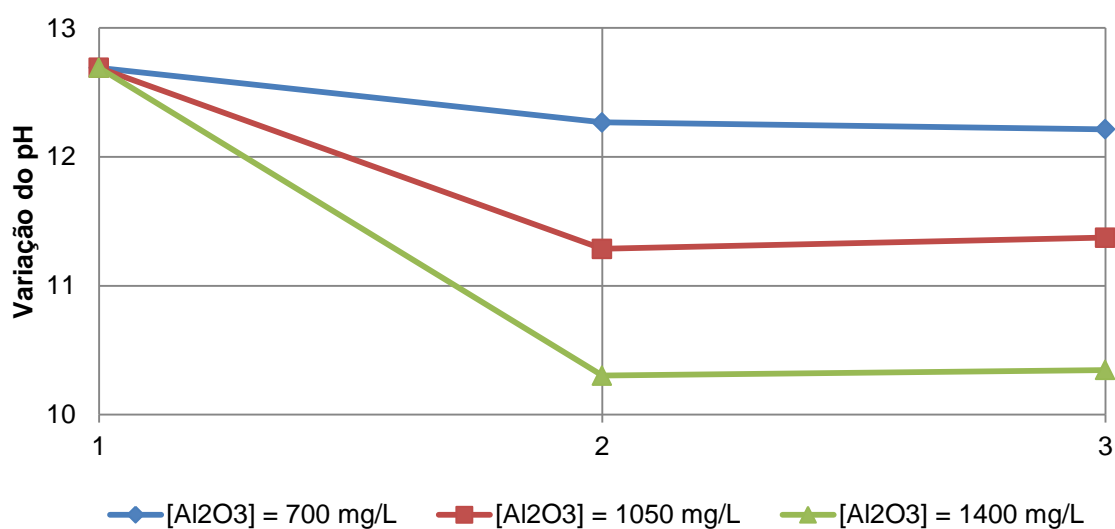
5.2 ANÁLISE DO PARÂMETRO pH

Antes da realização do ensaio o efluente bruto apresentava um pH de 12,69.

Na Figura 7 estão apresentados os perfis de pH considerando os dois coagulantes estudados. Os valores mostram a variação do pH ao final do processo de flotação e ao final do processo de filtração para a *Moringa oleifera* (a) e para o PAC (b).



(a)



(b)

Figura 7 - Variação do pH em função do processo de tratamento para *Moringa oleifera* (a) e PAC (b).

Nota: 1 = Efluente bruto; 2 = Flotação; 3 = Filtração.

É possível observar através da análise da Figura 7(a) que para o coagulante *Moringa oleifera* não ocorreram variações significativas no pH do efluente sendo que a maior variação foi observada para o processo de flotação nas concentrações de 2000 mg/L e 2500 mg/L, sendo constatada uma variação de 0,04. Tornando-se evidente, portanto, a característica da *Moringa oleifera* de não influenciar no pH durante o processo de tratamento.

Schmitt (2011) constatou resultados semelhantes ao estudar o tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios utilizando *Moringa oleifera* em solução salina, obtendo variações de pH na faixa de 0,10. Foi observado ainda que o pH das amostras ao final do tratamento foram ligeiramente menores que o pH da amostra antes do tratamento. Estes resultados também estão de acordo com o observado por Prasad (2009) ao estudar a remoção de cor do efluente de destilaria de álcool utilizando sementes de *Moringa oleifera* como coagulante.

Analisando a Figura 7(b) que mostra os resultados obtidos no tratamento realizado com o coagulante PAC, pode-se observar uma variação significativa nos valores de pH do efluente. Nota-se uma queda do pH com o aumento da concentração do coagulante, evidenciando a característica ácida do PAC devido a presença de ácido clorídrico em sua formulação. A maior variação de pH ocorreu com a concentração de 1400 mg/L, indo de 12,69 para o pH de 10,30 ao final da flotação. Foi possível observar ainda que o processo de filtração não tem influência significativa sobre o pH, sendo a maior variação de pH da flotação para a filtração de 0,08.

No estudo realizado por Moreti (2013) com sementes de *Moringa oleifera* para o tratamento de água para fins potáveis, os valores de pH também tiveram uma diminuição significativa com o uso do coagulante PAC corroborando os dados obtidos no presente trabalho.

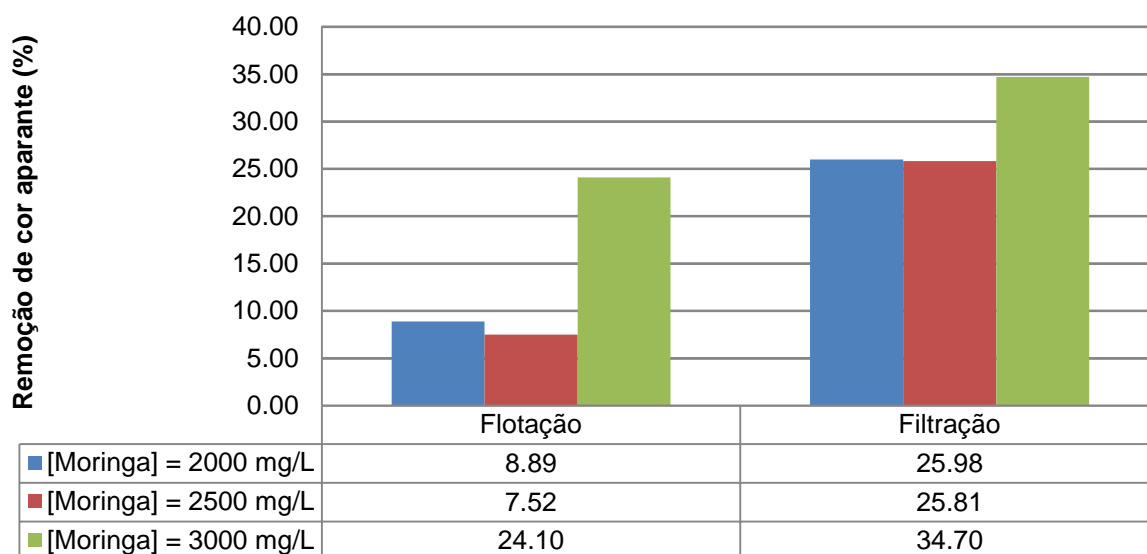
Após a etapa final do tratamento do efluente, ambos os coagulantes não atingiram os parâmetros de lançamento definidos pela Resolução CONAMA 430 (2011), sendo que os valores de pH deveriam estar entre 5,0 e 9,0; o que impossibilitaria o seu despejo em um corpo receptor. Para contornar esse problema o efluente de laticínio deveria sofrer uma correção de pH utilizando alguma solução ácida, tornando-o menos alcalino, o que permitiria seu enquadramento nos padrões determinados por lei.

Portanto, com relação ao pH, tanto o coagulante natural quanto o químico não foram capazes de alterar o pH do efluente a ponto de atingirem os padrões de lançamento.

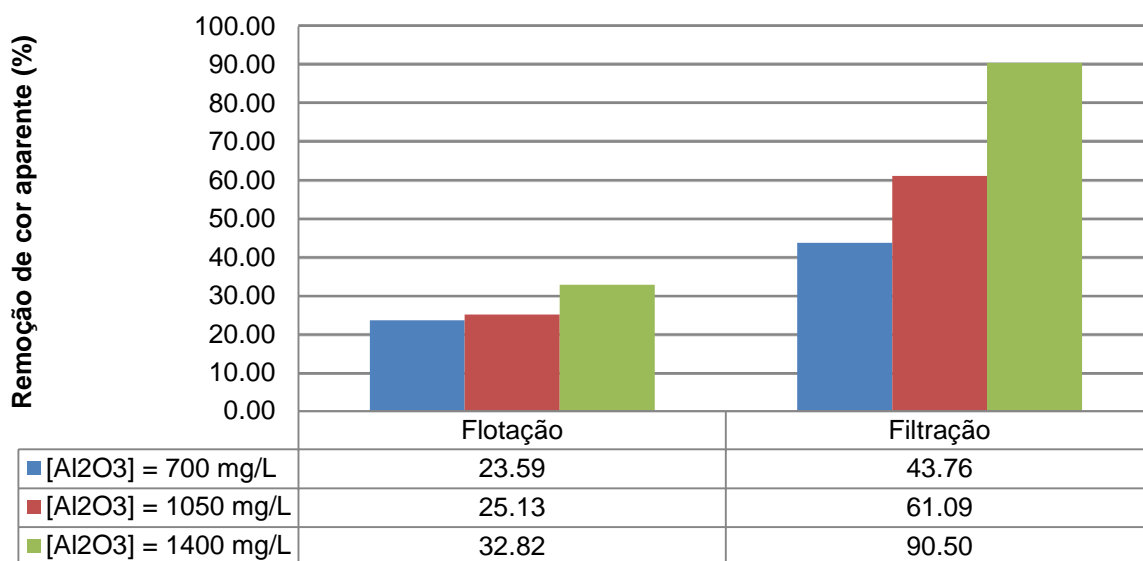
5.3 ANÁLISE DO PARÂMETRO COR APARENTE

Neste item será analisada a eficiência de remoção da cor aparente para os ensaios com ambos os coagulantes. O efluente em sua forma bruta apresentava o valor de 975 mg Pt Co/L para cor aparente.

Na Figura 8 estão apresentados os valores percentuais de eficiência de remoção para o parâmetro cor aparente em relação aos processos de flotação e filtração para o coagulante *Moringa oleifera* (a) e para o coagulante PAC (b). Os valores de porcentagem de remoção são referentes ao efluente bruto.



(a)



(b)

Figura 8 - Porcentagem de remoção do parâmetro cor aparente em função do processo de tratamento para *Moringa oleifera* (a) e PAC (b).

Por meio da análise da Figura 8(a), que retrata a remoção do parâmetro cor aparente com o uso do coagulante *Moringa oleifera*, foi possível observar que a melhor porcentagem de remoção foi obtida com a concentração de 3000 mg/L de coagulante, tanto para o processo de flotação, quanto para o processo de filtração, chegando ao valor de 34,7%. Pode-se analisar também que as concentrações de 2000 mg/L e 2500mg/L obtiveram valores de remoção muito semelhante em ambos os processos de tratamento, apresentando uma baixa eficiência, indicando que em concentrações menores o coagulante não tem uma boa resposta de remoção para a cor aparente.

De acordo com a Figura 8(a), comparando-se a porcentagem de remoção de cor aparente entre os processos de flotação e filtração, nota-se claramente um significativo aumento de remoção da flotação para a filtração, chegando a um valor de 18,29% de diferença para a concentração de 2500 mg/L.

Contradizendo os resultados encontrados nesse trabalho, Schmitt (2011) ao estudar o tratamento de efluente de laticínio utilizando o coagulante *Moringa oleifera* obteve valores de remoção superiores a 80% para o processo de coagulação/floculação/sedimentação com uma concentração de 1800 mg/L de coagulante. É interessante salientar, que apesar dos ótimos resultados, em concentrações mais baixas o coagulante também não teve boa resposta.

Pela análise da Figura 8(b), que apresenta os resultados obtidos com o uso do coagulante PAC, pode-se observar que a maior porcentagem de remoção (90,50%) foi obtida após o processo de filtração com a concentração de 1400 mg/L de Al_2O_3 . Observa-se ainda que para as concentrações de 700 mg/L e 1050 mg/L após o processo de flotação, os resultados obtidos foram muito semelhantes (23,59% e 25,13%, respectivamente), indicando mais uma vez que concentrações mais altas de coagulante apresentam melhor resultado.

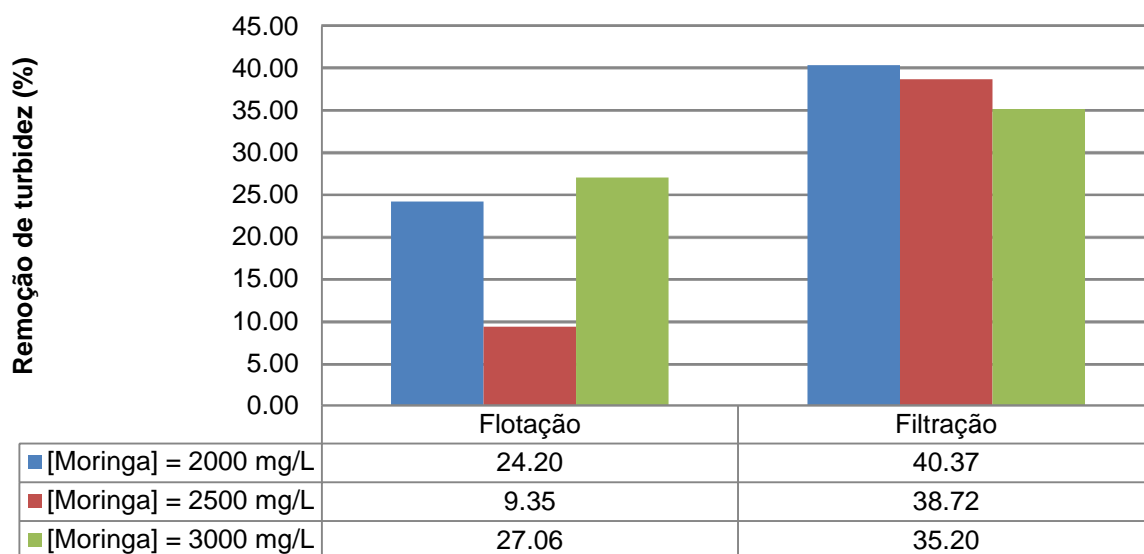
Para o coagulante PAC, vale ressaltar o aumento significativo de remoção de cor entre o processo de flotação e de filtração, ocorrendo um salto de 57,68% para a concentração de 1400 mg/L, ficando evidente também o aumento da eficiência do processo de filtração conforme aumenta-se a concentração do coagulante. Torna-se necessário, entretanto, esclarecer que durante os ensaios, quando utilizada a concentração de 1400 mg/L do coagulante PAC, houve grande dificuldade do efluente passar pelo leito filtrante, o que poderia ter causado um aumento tão representativo na eficiência do processo.

Ariano (2009) em seu estudo de coagulação, floculação e flotação de efluente de reatores anaeróbios para o tratamento de esgoto sanitário, obteve eficiência de 52% de remoção de cor aparente com o uso do coagulante PAC, resultados que se assemelham ao obtido no presente trabalho.

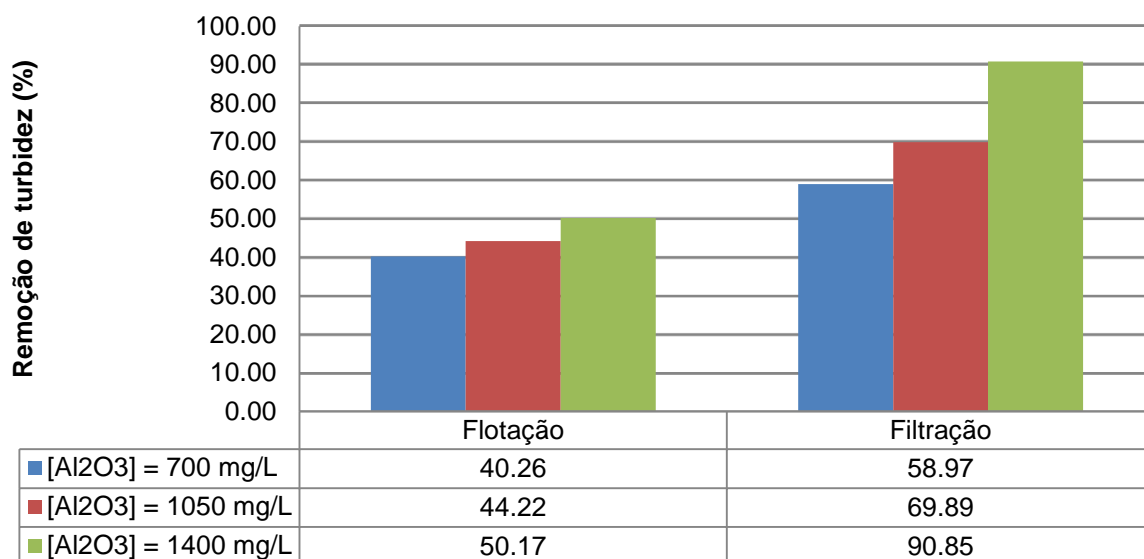
Para ambos os coagulantes utilizados não foi possível atingir o parâmetro de lançamento exigido pela resolução CONAMA 430 (2011) que é de 75 mg Pt Co/L. O resultado mais próximo a esse valor foi obtido utilizando o coagulante PAC na concentração de 1400 mg/L após o processo de filtração, chegando ao valor de 92,67 mg Pt Co/L.

5.4 ANÁLISE DO PARÂMETRO TURBIDEZ

Neste tópico serão analisadas as porcentagens de remoção para o parâmetro turbidez após o efluente passar pelos tratamentos de flotação e filtração usando os coagulantes *Moringa oleifera* (a) e PAC (b). O efluente antes dos ensaios apresentava turbidez de 303 NTU, a Figura 9 apresenta valores de remoção com relação ao efluente bruto.



(a)



(b)

Figura 9 - Porcentagem de remoção do parâmetro turbidez em função do processo de tratamento para *Moringa oleifera* (a) e PAC (b).

Observa-se na Figura 9(a) que ao final da etapa de filtração, a concentração de *Moringa oleifera* que obteve melhor resultado foi a de 2000 mg/L, chegando a 40,37% de remoção de turbidez. Em relação ao processo de flotação, porém, a concentração de 3000 mg/L foi a que alcançou melhor resultado, com 27,06% de remoção.

Nota-se ainda que para todas as concentrações estudadas houve um grande aumento na eficiência de remoção após o processo de filtração, ficando

todos os resultados acima de 35%. Para a concentração de 2500 mg/L de coagulante, a porcentagem de remoção subiu de 9,35% para 38,72%. Vale salientar também a semelhança entre os gráficos de remoção de turbidez e de cor aparente.

Schmitt (2011) obteve em seu estudo com efluente de laticínio e o coagulante *Moringa oleifera* resultados semelhantes quando utilizado o coagulante em concentrações mais baixas (1300 mg/L), chegando a 45% após um tempo de sedimentação de 60 minutos. Por outro lado, com concentrações mais elevadas (1800 mg/L), a porcentagem de remoção foi de 95,9% para o mesmo tempo de sedimentação. Esses resultados deixam claro, portanto, a maior eficiência de remoção de turbidez da *Moringa oleifera* para águas com elevada turbidez.

Analisando agora a Figura 9(b), observa-se que a concentração de 1400 mg/L de Al_2O_3 apresentou os melhores resultados, tanto para a flotação quanto para a filtração, chegando a 50,17% e 90,85% de remoção, respectivamente. Novamente o aumento da eficiência de remoção da flotação para a filtração teve valores significativos, ficando a maior diferença também para a concentração de 1400 mg/L, com 40,68%.

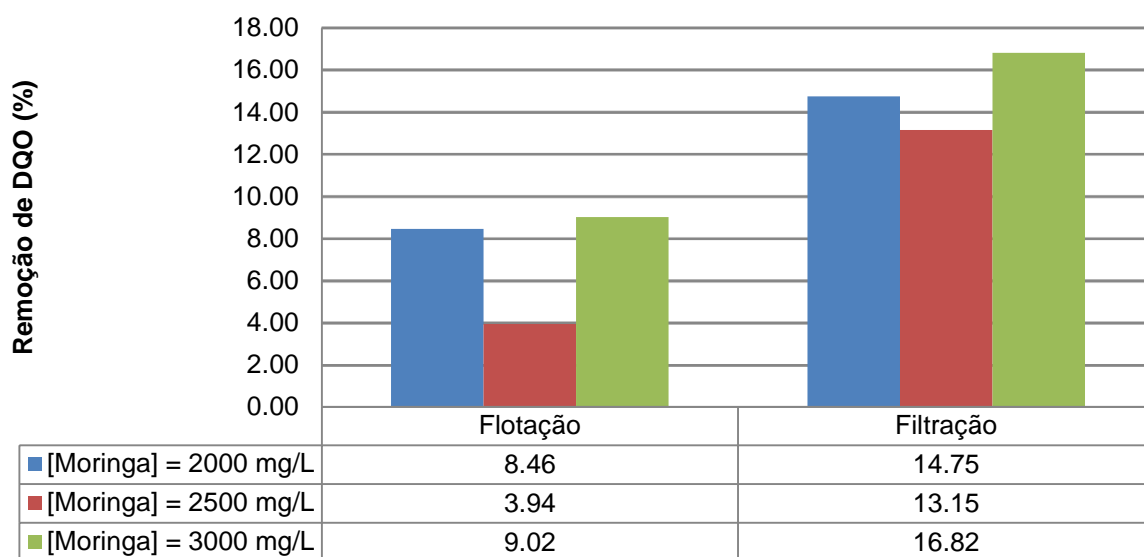
É interessante mostrar ainda a grande semelhança entre os gráficos de remoção de turbidez (Figura 9(b)) e de cor aparente (Figura 8(b)) para o coagulante PAC.

Em um trabalho realizado por Duran (2014), a remoção de turbidez do efluente de laticínio após o ensaio de sedimentação no jar-test foi de 89,86% para o mesmo coagulante, resultado esse um pouco superior ao apresentado nesse trabalho.

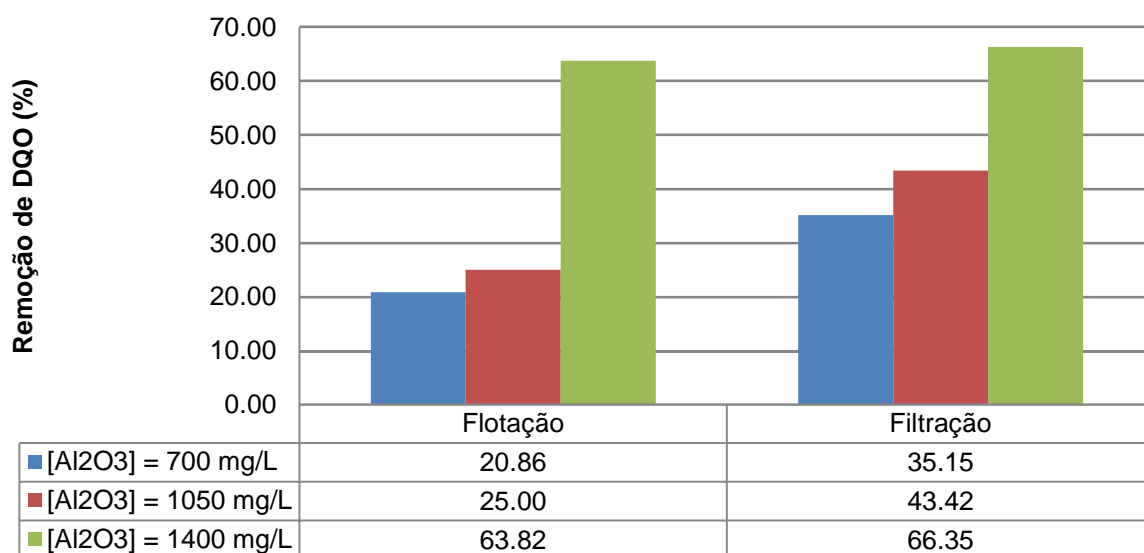
Com relação aos padrões de lançamento exigidos pela resolução CONAMA 357 (2005), apenas o coagulante PAC nos ensaios com as concentrações de 1050 mg/L e 1400 mg/L atingiu valores abaixo de 100 NTU de turbidez determinado por lei. Para a *Moringa oleifera*, a concentração de 2000 mg/L apresentou o melhor resultado, chegando a uma turbidez de 180,67 NTU após a etapa de filtração.

5.5 ANÁLISE DO PARÂMETRO DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

Neste item será analisada a eficiência de remoção para o parâmetro demanda química de oxigênio para os dois coagulantes estudados. Os valores apresentados são referentes ao final do processo de flotação e ao final da filtração para a *Moringa oleifera* (a) e para o PAC (b). A Figura 10 apresenta valores de remoção em relação ao efluente bruto, que possuía DQO de 896 mg/L.



(a)



(b)

Figura 10 - Porcentagem de remoção do parâmetro DQO em função do processo de tratamento para *Moringa oleifera* (a) e PAC (b).

Por meio da análise da Figura 10(a), que apresenta as porcentagens de remoção de DQO utilizando a *Moringa oleifera* como coagulante, pode-se afirmar que a concentração de 3000 mg/L mostrou os melhores resultados, tanto para o processo de flotação quanto para a filtração, chegando aos valores de 9,02% e 16,82%, respectivamente. A concentração de 2000 mg/L também mostrou um bom resultado, atingindo a marca de 14,75% de remoção após a etapa de filtração, ficando o pior desempenho para a concentração de 2500 mg/L, com 13,15% de remoção. Vale salientar ainda que ocorreu um grande aumento na eficiência de remoção do processo de flotação para o de filtração.

Por se tratar de uma semente, a *Moringa oleifera* apresenta uma elevada carga orgânica, teve-se, portanto, o cuidado de calcular a DQO da solução coagulante para saber se a mesma afetaria os valores de DQO encontrados após o tratamento. Apesar do valor de DQO encontrado para a solução ter sido de 9765 mg/L, ela não afetou os resultados pois foi usada em quantidades baixas.

Em um estudo realizado por Schmitt (2011) utilizando *Moringa oleifera* para o tratamento de efluente de laticínio através da coagulação/floculação/sedimentação, obteve-se 47,7% de remoção para a concentração de 1600 mg/L de coagulante, resultado melhor do que o encontrado no presente trabalho. Ferreira (2012) também atingiu o valor de 44,8% de remoção de DQO em seu estudo com efluente de laticínio utilizando o coagulante natural.

Para o coagulante PAC (Figura 10(b)), é possível observar que a maior porcentagem de remoção ocorreu com a concentração de 1400 mg/L de Al_2O_3 , atingindo o valor de 66,35% após a etapa de filtração. Em todas as concentrações foi possível observar ainda um aumento de eficiência da etapa de flotação para a etapa de filtração, sendo esse fato mais evidente com a concentração de 700 mg/L, onde o aumento foi de 14,29%.

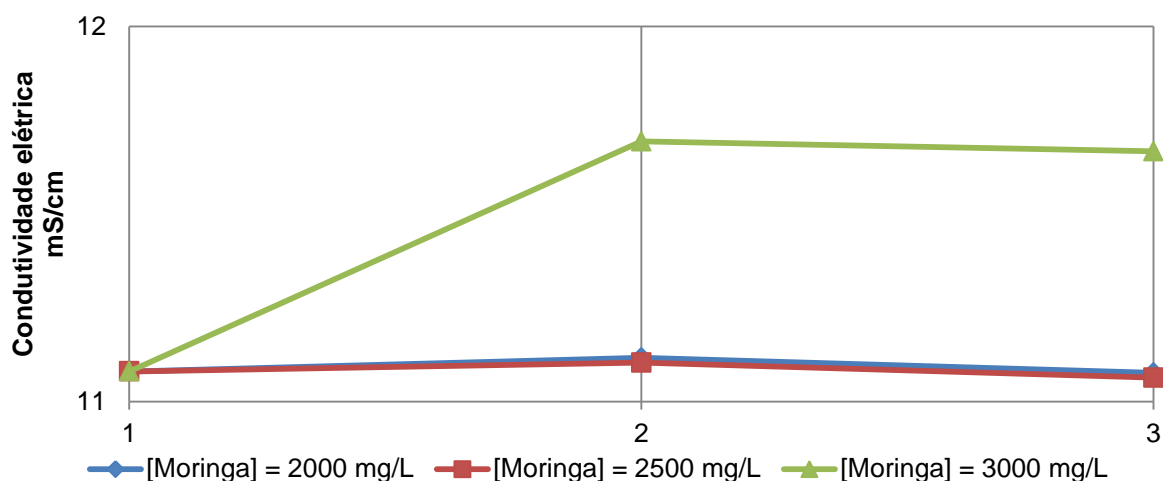
Duran (2014), em seu trabalho utilizando o policloreto de alumínio (PAC) para o tratamento de efluente da indústria de produtos lácteos, obteve o valor de 67,83% de remoção para a DQO após os ensaios em jar-test com a concentração de 929 mg/L de coagulante e 8900 mg/L de polímero catiônico, resultado esse semelhante ao encontrado no presente trabalho.

Os dois coagulantes testados neste trabalho não atingiram os valores de remoção exigidos pela CEMA 070 (2009) de 200 mg/L de DQO. O coagulante PAC

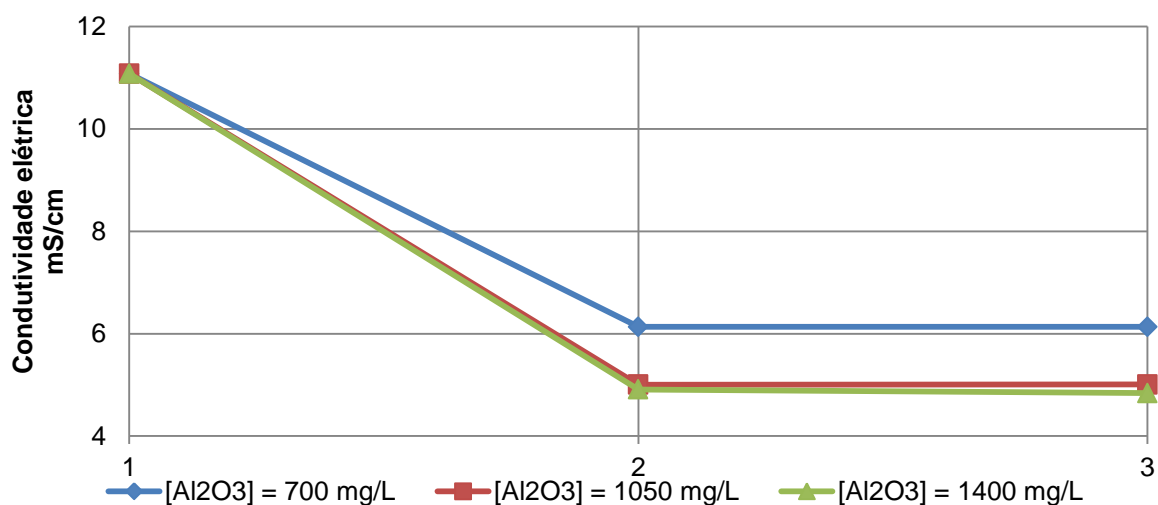
na concentração de 1400 mg/L apresentou o resultado mais próximo do determinado por lei, chegando ao valor de 301,60 mg/L de DQO após a etapa de filtração.

5.6 ANÁLISE DO PARÂMETRO CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Neste tópico serão analisados os perfis de variação de condutividade elétrica (Figura 11). Os valores apresentados são referentes ao final do processo de flotação e ao final do processo de filtração para a *Moringa oleifera* (a) e para o PAC (b). O efluente bruto apresentava condutividade elétrica de 11,08 mS/cm.



(a)



(b)

Figura 11 - Variação da condutividade elétrica em função do processo de tratamento para *Moringa oleifera* (a) e PAC (b).

Nota: 1 = Efluente bruto; 2 = Flotação; 3 = Filtração.

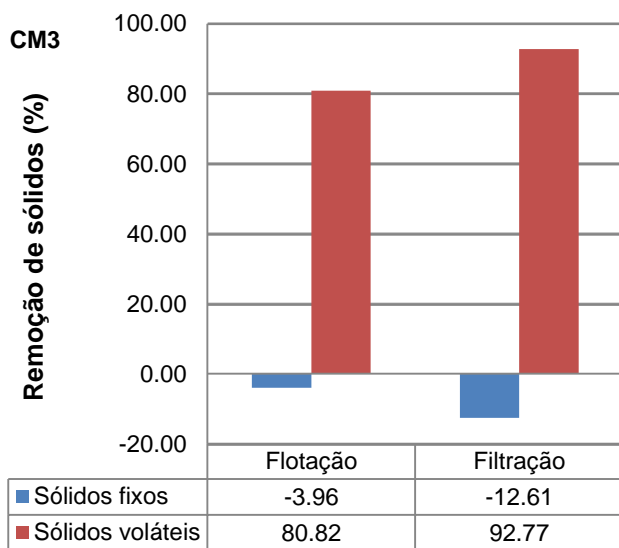
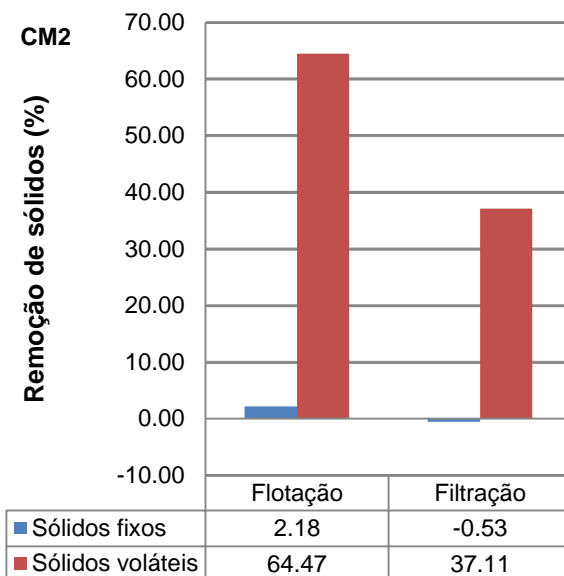
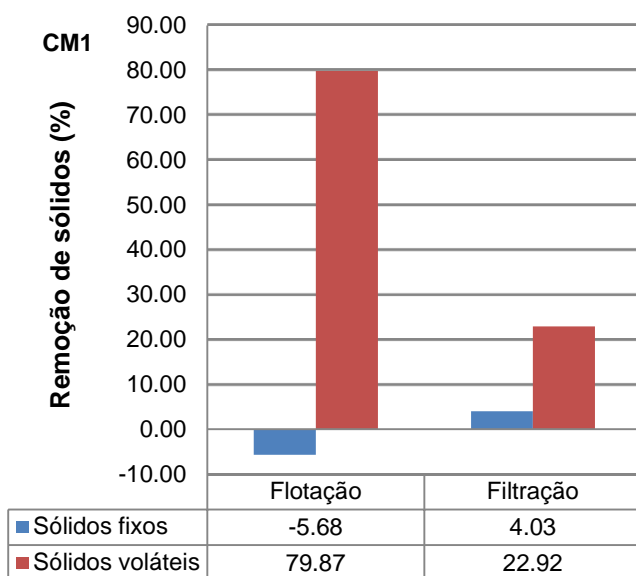
Observa-se através da análise da Figura 11(a) que a condutividade elétrica para os ensaios realizados com o coagulante *Moringa oleifera* não sofreu variações significativas para ambos os processos de tratamento (flotação e filtração). Os tratamentos realizados com as concentrações de 2000 mg/L e 2500 mg/L do coagulante obtiveram resultados muito semelhantes (11,08 e 11,06 mS/cm), sendo que os valores de condutividade elétrica do efluente tratado permaneceram próximos ao do efluente bruto.

Os ensaios feitos com a concentração de 3000 mg/L apresentaram um pequeno aumento no valor da condutividade elétrica (0,61 mS/cm), o que pode ter sido causado pela presença de sais na solução de *Moringa oleifera*, indicando também que um acréscimo nas concentrações do coagulante durante o tratamento pode causar um aumento na condutividade elétrica.

Analisando a Figura 11(b), que indica a variação da condutividade elétrica no tratamento usando o coagulante PAC, pode-se notar uma significativa queda nos valores de condutividade elétrica para as três concentrações utilizadas. A concentração de 1400 mg/L foi a que apresentou maior diminuição nos valores, variando de 11,08 mS/cm para 4,84 mS/cm. Vale ressaltar também que a diferença nos valores de C.E. do processo de flotação para o processo de filtração foi próximo a zero, o que indica que a filtração não influi nesse parâmetro. Essa grande variação nos valores de condutividade elétrica pode ser atribuída à presença de íons Cl^- originados do ácido clorídrico presente no coagulante PAC.

5.7 ANÁLISE DO PARÂMETRO SÉRIE DE SÓLIDOS

Neste tópico serão apresentados os valores absolutos e as porcentagens de remoção do parâmetro série de sólidos (sólidos fixos e sólidos voláteis) após a realização dos ensaios com a *Moringa oleifera* e o PAC. O efluente bruto apresentava 6110 mg/L de sólidos totais, dos quais 5050 mg/L eram de sólidos fixos e 1060 mg/L de sólidos voláteis. A Figura 12 mostra valores de remoção em relação ao efluente bruto.



(a)

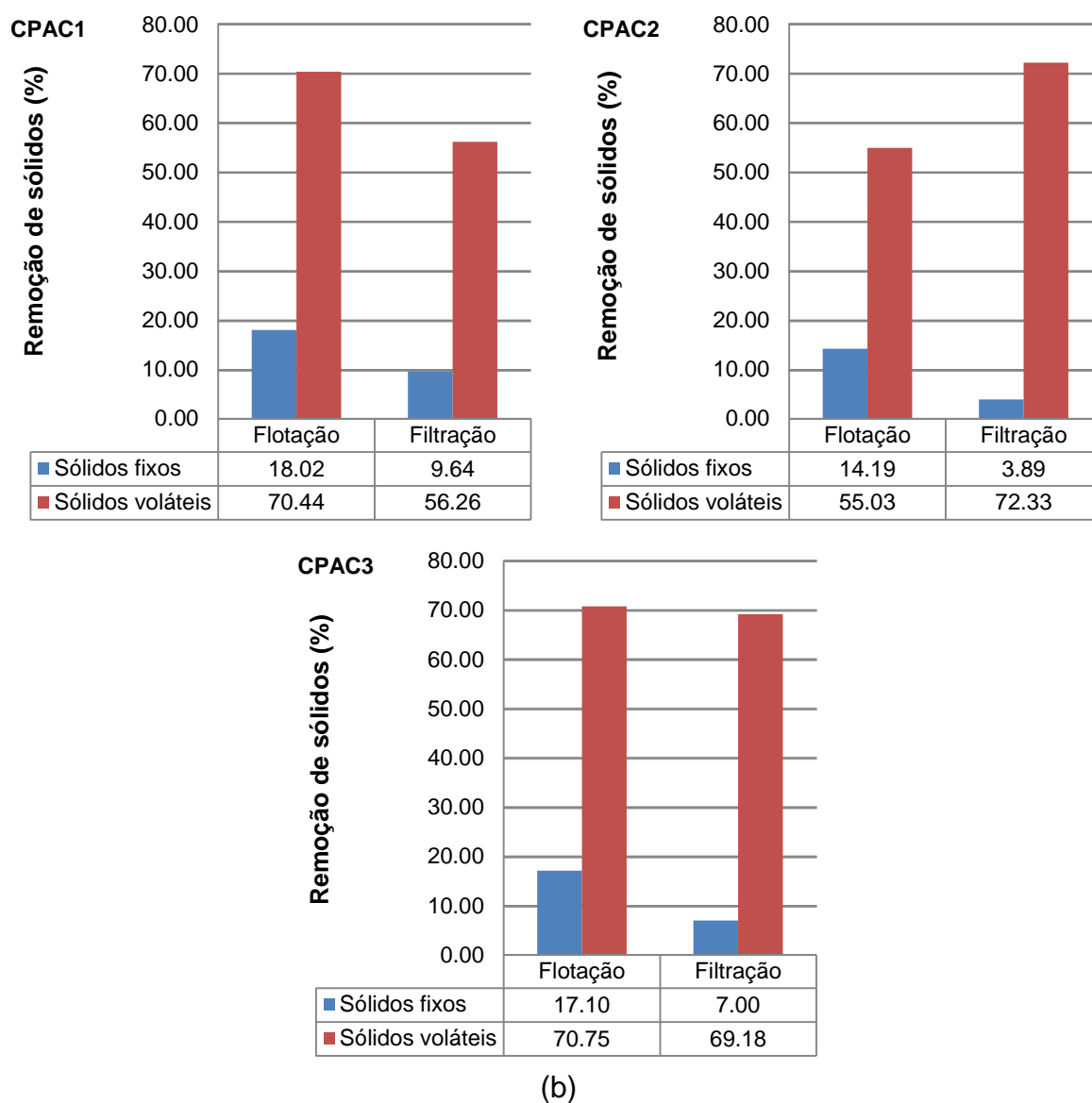
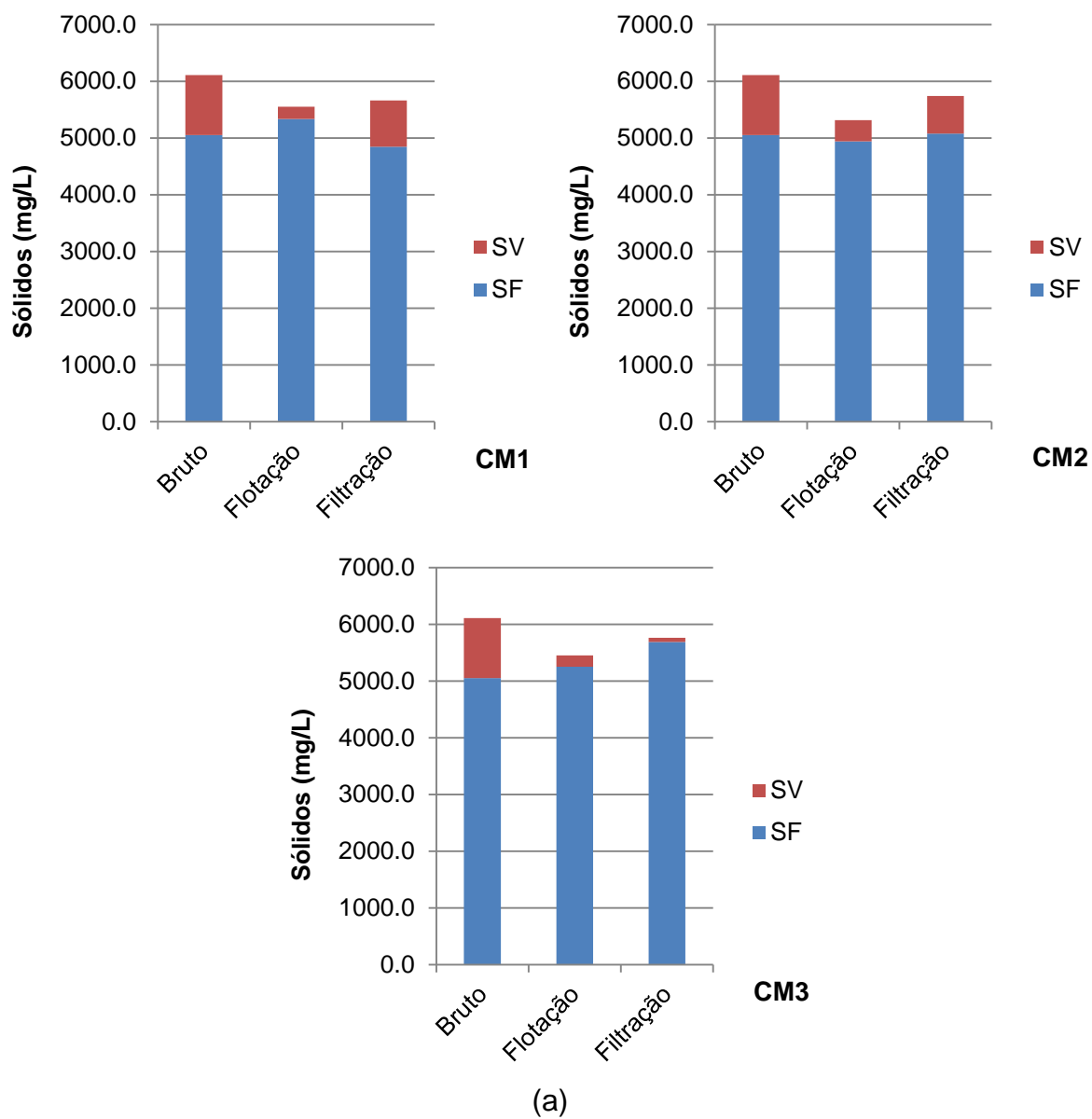


Figura 12 - Porcentagem de remoção do parâmetro série de sólidos em função do processo de tratamento para *Moringa oleifera* (a) e PAC (b).

Nota: CM1 = *Moringa oleifera* 2000 mg/L; CM2 = *Moringa oleifera* 2500 mg/L; CM3 = *Moringa oleifera* 3000 mg/L; CPAC1 = Al₂O₃ 700 mg/L; CPAC2 = Al₂O₃ 1050 mg/L; CPAC3 = Al₂O₃ 1400 mg/L.



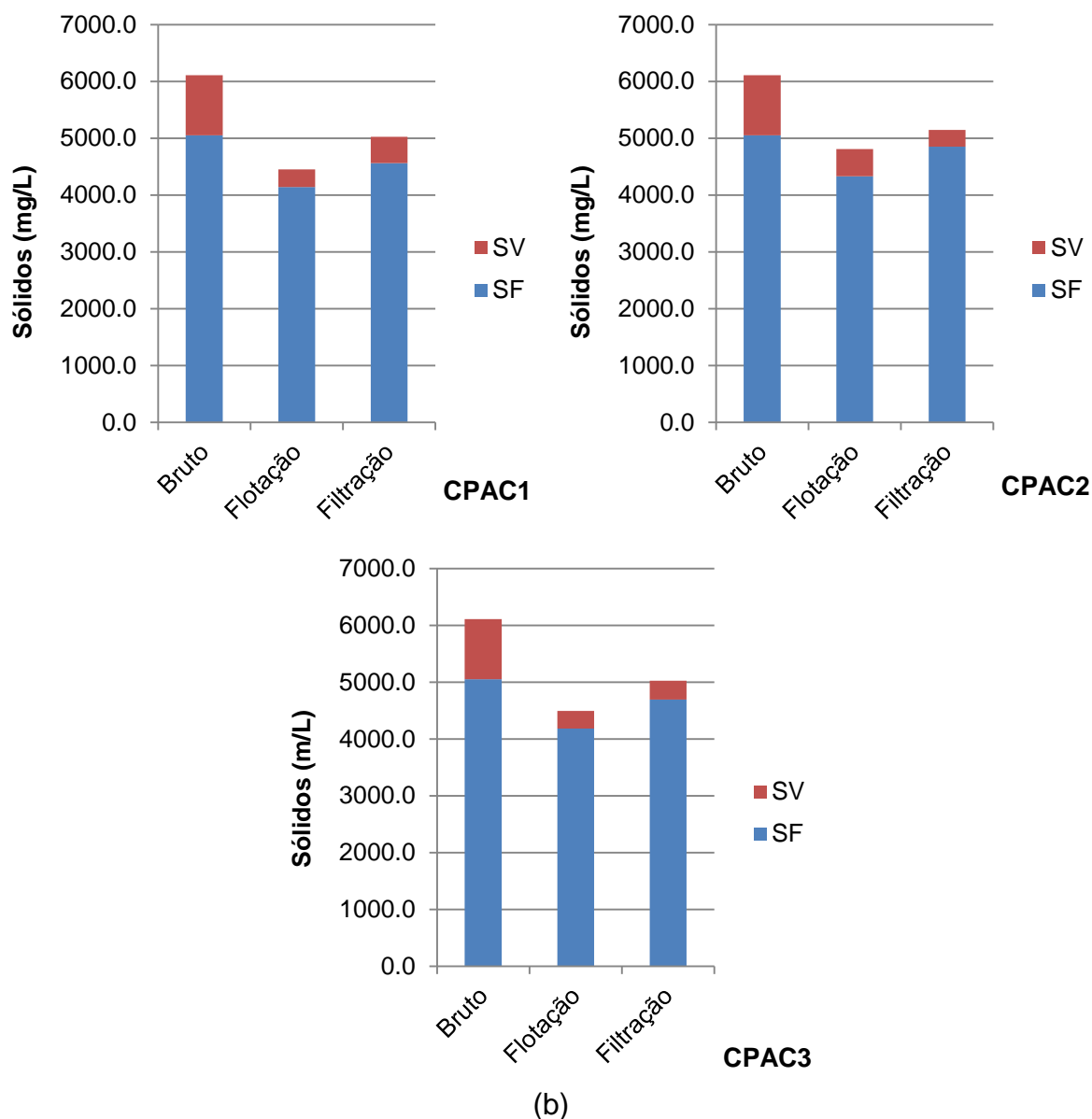


Figura 13 - Valores absolutos do parâmetro série de sólidos em função do processo de tratamento para *Moringa oleifera* (a) e PAC (b).

Nota: CM1 = *Moringa oleifera* 2000 mg/L; CM2 = *Moringa oleifera* 2500 mg/L; CM3 = *Moringa oleifera* 3000 mg/L; CPAC1 = Al_2O_3 700 mg/L; CPAC2 = Al_2O_3 1050 mg/L; CPAC3 = Al_2O_3 1400 mg/L.

Ao analisar a Figura 12(a), que representa a remoção dos sólidos fixos e voláteis com o uso do coagulante *Moringa oleifera*, nota-se que a concentração mais eficiente para remoção de sólidos voláteis foi a de 3000 mg/L, com uma remoção de 92,77%. Vale ressaltar, porém, que para os sólidos fixos a *Moringa oleifera* apresentou baixa eficiência, ocorrendo até o aumento desse parâmetro (Figura 13(a)). Foi possível observar ainda um aumento na quantidade de sólidos fixos da etapa da flotação para a etapa de filtração, o que pode ter sido ocasionado pelo carreamento de areia presente nos leitos filtrantes, fato esse que não foi observado

na concentração de 2000 mg/L. Portanto, a *Moringa oleifera* apresentou uma boa eficiência para remoção de sólidos voláteis para todas as concentrações estudadas.

Em relação ao coagulante PAC, pode-se observar pela análise da Figura 12(b) que para a remoção dos sólidos fixos, a concentração que apresentou melhor eficiência foi a de 700 mg/L. Já para os sólidos voláteis, a concentração de 1050 mg/L mostrou ser a mais eficiente, tendo uma remoção de 72,33%. Entretanto, de maneira geral, após os processos de flotação e filtração, a concentração de 1400 mg/L obteve os melhores resultados, tendo uma redução de 17,79% nos sólidos totais.

Vale ressaltar que, semelhante ao ocorrido com o ensaio utilizando *Moringa oleifera*, após a etapa de filtração com o PAC, foi possível notar um aumento na quantidade de sólidos totais em relação à etapa de flotação para todas as concentrações testadas (Figura 13(b)), indicando que para este parâmetro, a filtração prejudicou o tratamento para ambos os coagulantes. Portanto, avaliando-se apenas a etapa de flotação, a concentração que apresentou melhor desempenho foi a de 700 mg/L de PAC, com uma redução de 27,1% nos sólidos totais. Já a de *Moringa oleifera*, foi a concentração de 2500 mg/L, com uma redução de 13%.

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Este tópico apresentará os resultados da análise estatística realizada com os dados obtidos após os ensaios. Os resultados serão apresentados separadamente para cada processo (flotação e filtração) e para cada parâmetro estudado.

5.8.1 Resultados para flotação

5.8.1.1 Análise de variância para o parâmetro pH

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise de variância para a variável pH para o processo de flotação.

Tabela 7- Resultados da análise de variância para a variável pH

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _C	Valor-P
Coagulante	1	9,2307	9,2307	138,012	6,10E-08
Concentração	2	2,9906	1,4953	22,357	8,97E-05
Coagulante x Concentração	2	2,7941	1,3971	20,888	1,23E-04
Resíduo	12	0,8026	0,0669		
Total	17	15,8181			

A partir da Tabela 7, observa-se que o valor-P é menor que 0,05 para todos os fatores. Isso indica a existência de efeito significativo tanto para a interação (Coagulante x Concentração) quanto para os fatores simples Coagulante e Concentração, considerando 5% de significância. A Tabela 8 apresenta o resumo das comparações de médias para o parâmetro pH, pelo teste de Tukey, para os desdobramentos.

Tabela 8 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos - pH

Coagulante	Concentração		
	1	2	3
<i>Moringa</i>	12,726 aA	12,733 aA	12,693 aA
PAC	12,267 aA	11,287 bB	10,303 bC

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais. Observar letras minúsculas para coluna e letras maiúsculas para linha.

Para o parâmetro pH, os resultados apresentados na Tabela 8 mostram que os coagulantes podem apresentar desempenhos iguais utilizando diferentes concentrações. As diferentes concentrações do coagulante *Moringa oleifera* não influenciaram significativamente nos valores de pH. Por outro lado, com o PAC, as

três concentrações utilizadas apresentaram resultados estatisticamente diferentes, sendo que o pH teve seu valor reduzido com o aumento da concentração do coagulante. Na concentração 1, *Moringa oleifera* e PAC apresentaram resultados iguais. Já na concentrações 2 e 3, o PAC apresentou médias diferentes e inferiores à *Moringa oleifera*.

5.8.1.2 Análise de variância para o parâmetro cor aparente

Pelos resultados da análise de variância, apresentados na Tabela 9, observa-se que o Valor-P foi maior que o nível de significância (5% ou 0,05), tanto para a interação (Coagulante x Concentração) quanto para os fatores Coagulante e Concentração, indicando a não existência do efeito significativo. Ou seja, estatisticamente, tanto os diferentes coagulantes quanto as diferentes concentrações não apresentaram diferença para a variável cor aparente.

Como as médias dos fatores Coagulante e Concentração são estatisticamente iguais, as tabelas das comparações das mesmas não serão apresentadas.

Tabela 9 - Resultados da análise de variância para a variável cor aparente

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _C	Valor-P
Coagulante	1	80000	80000	3,6018	0,08203
Concentração	2	56408	28204	1,2698	0,31606
Coagulante x Concentração	2	5858	2929	0,1319	0,87770
Resíduo	12	266533	22211		
Total	17	408800			

5.8.1.3 Análise de variância para o parâmetro turbidez

A Tabela 10 apresenta o resultado da análise de variância para o parâmetro turbidez para o processo de flotação.

Tabela 10 - Resultados da análise de variância para a variável turbidez

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _C	Valor-P
Coagulante	1	25163	25162,7	9,7899	0,00871
Concentração	2	3860	1930,1	0,7509	0,49287
Coagulante x Concentração	2	2488	1244,1	0,4840	0,62783
Resíduo	12	30843	2570,3		
Total	17	62354			

Observando a Tabela 10, nota-se que, pela análise de variância, tanto o efeito da interação (Coagulante x Concentração) quanto o da Concentração foram não significativos, a 5% de significância. Somente o efeito do Coagulante foi significativo, portanto, a comparação de médias foi feita apenas para este fator.

Tabela 11 - Comparações de médias pelo teste de Tukey - turbidez

Coagulante	Médias
<i>Moringa</i>	241,7778 a
PAC	167 b

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais.

Na Tabela 11 observa-se que a média dos valores de turbidez após o tratamento com o uso do coagulante PAC foi estatisticamente menor que o da *Moringa oleifera*, indicando uma maior eficiência de remoção com o uso do coagulante químico.

5.8.1.4 Análise de variância para o parâmetro DQO

A Tabela 12 apresenta o resultado da análise de variância para o parâmetro DQO para o processo de flotação.

Tabela 12 - Resultados da análise de variância para a variável DQO

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _C	Valor-P
Coagulante	1	312975	312975	32,980	0,0000927
Concentração	2	153511	76755	8,088	0,0059674
Coagulante x Concentração	2	120951	60475	6,373	0,0130056
Resíduo	12	113878	9490		
Total	17	701315			

Pelos resultados da análise de variância, apresentados na Tabela 12, observa-se que o Valor-P foi menor que o nível de significância (5% ou 0,05), indicando que a interação entre o fator Coagulante e o fator Concentração é significativa. Assim, as comparações de médias foram realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dos níveis do outro fator, e vice-versa (desdobramentos). Foi usado o teste de Tukey, também a 5% de significância, cujos resultados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos - DQO

Coagulante	Concentração		
	1	2	3
<i>Moringa</i>	820.6259 aA	861.0691 aA	815.5705 aA
PAC	709.4071 aA	672.3341 bA	324.3541 bB

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais. Observar letras minúsculas para coluna e letras maiúsculas para linha.

Os resultados apresentados na Tabela 13 mostram que as diferentes concentrações do coagulante *Moringa oleifera* não surtiram efeito significativo na DQO. Já com o PAC, a concentração 3 apresentou resultado estatisticamente diferente e inferior às concentrações 1 e 2, cujos efeitos são iguais. Na concentração 1, *Moringa oleifera* e PAC apresentaram resultados iguais. Já nas concentrações 2 e 3, o PAC apresentou médias diferentes e inferiores à *Moringa oleifera*.

5.8.1.5 Análise de variância para o parâmetro condutividade elétrica

A Tabela 14 apresenta o resultado da análise de variância para o parâmetro condutividade elétrica para o processo de flotação.

Tabela 14 - Resultados da análise de variância para a variável condutividade elétrica

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _C	Valor-P
Coagulante	1	159,609	159,609	490,38	0
Concentração	2	0,986	0,493	1,51	0,259072
Coagulante x Concentração	2	2,477	1,238	3,81	0,052505
Resíduos	12	3,906	0,325		
Total	17	166,978			

Pela análise de variância, apresentada na Tabela 14, nota-se que o Valor-P é maior que 0,05 tanto para o efeito da interação (Coagulante x Concentração) quanto para o da Concentração, indicando que a interação não foi significativa para esses fatores. Somente o efeito do Coagulante foi significativo, portanto, a comparação de médias foi feita apenas para este fator.

Tabela 15 - Comparações de médias pelo teste de Tukey - condutividade elétrica

Coagulante	Médias
<i>Moringa</i>	11,3044 a
PAC	5,3489 b

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais.

Na Tabela 15 observa-se que a média dos valores de condutividade elétrica após o tratamento com o uso do coagulante PAC foi estatisticamente menor que o da *Moringa oleifera*.

5.8.2 Resultados para filtração

5.8.2.1 Análise de variância para o parâmetro pH

Por meio da análise da Tabela 16, observa-se que o valor-P é menor que 0,05 para todos os fatores. Isso indica a existência de efeito significativo tanto para a interação (Coagulante x Concentração) quanto para os fatores simples, Coagulante e Concentração, considerando 5% de significância.

Tabela 16 - Resultados da análise de variância para a variável pH

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _c	Valor-P
Coagulante	1	8,834	8,834	115,218	1,66E-07
Concentração	2	2,6283	1,3141	17,14	3,04E-04
Coagulante x Concentração	2	2,6165	1,3082	17,063	3,10E-04
Resíduos	12	0,9201	0,0767		
Total	17	14,9989			

A Tabela 17 mostra o resumo das comparações de médias para os desdobramentos pelo teste de Tukey.

Tabela 17 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos - pH

Coagulante	Concentração		
	1	2	3
<i>Moringa</i>	12,72 aA	12,7 aA	12,71667 aA
PAC	12,21333 bA	11,37333 bB	10,34667 bC

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais. Observar letras minúsculas para coluna e letras maiúsculas para linha.

As conclusões obtidas pelas comparações de médias, com base na Tabela 17, mostraram que para a filtração, fixando-se o fator Coagulante e variando os níveis do fator Concentração, o coagulante *Moringa oleifera* apresentou médias estatisticamente iguais para todas as concentrações, o que indica que o coagulante natural em estudo não tem influencia significativa sobre esse parâmetro. Por outro lado, o coagulante PAC mostrou ter efeito significativo, ocorrendo uma queda no pH com o aumento da concentração de coagulante utilizada. Fixando-se o fator Concentração, para a concentração 1, *Moringa oleifera* e PAC apresentaram resultados iguais. Já na concentrações 2 e 3, o PAC apresentou médias diferentes e inferiores à *Moringa oleifera*.

5.8.2.2 Análise de variância para o parâmetro cor aparente

Pode-se observar na Tabela 18 que o valor-P foi menor que 0,05, indicando que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração foi significativa considerando 5% de significância.

Tabela 18 - Resultados da análise de variância para a variável cor aparente

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _c	Valor-P
Coagulante	1	527878	527878	81,223	1,1E-06
Concentração	2	200070	100035	15,392	0,000487
Coagulante x Concentração	2	85098	42549	6,547	0,011959
Resíduos	12	77990	6499		
Total	17	891036			

Na Tabela 19 é apresentado um resumo das comparações de médias para os desdobramentos utilizando teste de Tukey usando os dados de cor aparente.

Tabela 19 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – cor aparente

Coagulante	Concentração		
	1	2	3
<i>Moringa</i>	721,6667 aA	723,3333 aA	636,6667 aA
PAC	548,3333 bA	379,3333 bB	126,5 bC

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais. Observar letras minúsculas para coluna e letras maiúsculas para linha.

As informações da Tabela 19 indicam que ao fixar o fator Coagulante as médias foram estatisticamente iguais para todas as concentrações de *Moringa oleifera* e diferentes para todas as concentrações de PAC, ocorrendo um aumento da eficiência com o aumento da concentração. Já fixando o fator Concentração, todas as médias foram diferentes entre os coagulantes estudados, sendo que o PAC apresentou valores menores, indicando um desempenho superior ao da *Moringa oleifera*.

5.8.2.3 Análise de variância para o parâmetro turbidez

Na Tabela 20, observa-se, para o fator Coagulante, que o valor-P é igual a 0,000031 e, portanto, menor que 0,05, indicando que para esse fator o efeito foi significativo a 5% de significância. Dessa maneira, será mostrado na sequência a tabela somente das comparações das médias pelo teste de Tukey para esse fator.

Tabela 20 - Resultados da análise de variância para a variável turbidez

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _C	Valor-P
Coagulante	1	47201	47201	41,812	0,000031
Concentração	2	3592	1796	1,591	0,243891
Coagulante x Concentração	2	7666	3833	3,395	0,067832
Resíduos	12	13547	1129		
Total	17	72006			

Nota-se pela análise da Tabela 21 que as médias dos valores obtidos com o tratamento utilizando *Moringa oleifera* e PAC foram estatisticamente diferentes, sendo que o PAC apresentou melhor desempenho, já que reduziu mais a turbidez.

Tabela 21 - Comparações de médias pelo teste de Tukey – turbidez

Coagulante	Médias
<i>Moringa</i>	187,5556 a
PAC	85,13889 b

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais.

5.8.2.4 Análise de variância para o parâmetro DQO

A Tabela 22 apresenta os resultados da análise de variância para o parâmetro DQO para o processo de filtração.

Tabela 22 - Resultados da análise de variância para a variável DQO

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _C	Valor-P
Coagulante	1	403360	403360	259,383	2,00E-09
Concentração	2	74700	37350	24,018	6,38E-05
Coagulante x Concentração	2	52942	26471	17,022	3,13E-04
Resíduos	12	18661	1555		
Total	17	549663			

Como visto na Tabela 22, através dos resultados da análise de variância, observa-se que o Valor-P foi menor que o nível de significância (5% ou 0,05) para todos os fatores analisados, indicando que a interação entre o fator Coagulante e o fator Concentração é significativa. As comparações de médias foram realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dos níveis do outro fator, e vice-versa (desdobramentos). Para isso, utilizou-se o teste de Tukey, também a 5% de significância, cujos resultados são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – DQO

Coagulante	Concentração		
	1	2	3
<i>Moringa</i>	764,1739 aA	778,4975 aA	745,6374 aA
PAC	581,3369 bA	507,1911 bA	301,6048 bB

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais. Observar letras minúsculas para coluna e letras maiúsculas para linha.

Analisando a Tabela 23 nota-se que as diferentes concentrações do coagulante *Moringa oleifera* não surtiram efeito significativo na remoção de DQO. Por outro lado, para o coagulante PAC, as três concentrações apresentaram resultados estatisticamente diferentes, sendo que as médias diminuíram com o aumento da concentração do coagulante, indicando um melhor desempenho do coagulante em maiores concentrações. Para todas as concentrações utilizadas, a *Moringa oleifera* apresentou médias estatisticamente diferentes e superiores a do PAC, mostrando assim um pior desempenho na remoção de DQO.

5.8.2.5 Análise de variância para o parâmetro condutividade elétrica

A Tabela 24 apresenta os resultados da análise de variância para o parâmetro condutividade elétrica para o processo de filtração.

Tabela 24 - Resultados da análise de variância para a variável condutividade elétrica

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _c	Valor-P
Coagulante	1	158,895	158,895	514,34	0
Concentração	2	0,992	0,496	1,61	0,240912
Coagulante x Concentração	2	2,69	1,345	4,35	0,037883
Resíduos	12	3,707	0,309		
Total	17	166,284			

Na Tabela 24, que apresenta a análise de variância, observa-se que o Valor-P é maior que 0,05 somente para o fator Concentração, indicando que a interação não foi significativa para esse fator. Já os efeitos do Coagulante e a interação Coagulante x Concentração foram significativos, portanto, a comparação de médias foi feita apenas para estes fatores.

Como observado na Tabela 25, pode-se notar que as diferentes concentrações de *Moringa oleifera* não afetaram significativamente os valores de condutividade elétrica.

Tabela 25 - Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – condutividade elétrica

Coagulante	Concentração		
	1	2	3
<i>Moringa</i>	11,0767 aA	11,0633 aA	11,6667 aA
PAC	6,1333 bA	5,0067 bAB	4,84 bB

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais. Observar letras minúsculas para coluna e letras maiúsculas para linha.

Para o coagulante PAC, as concentrações 1 e 2 apresentaram resultados estatisticamente iguais. A concentração 3 foi estatisticamente igual a concentração 2, porém diferente da concentração 1. Para todas as concentrações usando PAC, houve uma queda nos valores de condutividade elétrica.

6 CONCLUSÕES

A partir deste estudo pode-se concluir que para o tratamento de efluente da indústria de laticínios através dos processos de coagulação, floculação, flotação e filtração, o coagulante químico policloreto de alumínio (PAC) apresentou resultados mais expressivos de porcentagem de remoção para os parâmetros analisados.

O coagulante natural *Moringa oleifera* também apresentou resultados satisfatórios no tratamento. Para a remoção de alguns parâmetros como a turbidez, cor aparente e sólidos voláteis, obteve porcentagens de remoção em torno de 40%, 34% e 93%, respectivamente. É possível destacar ainda, que diferente do ocorrido com o coagulante químico, a *Moringa oleifera* não alterou significativamente os valores de pH e condutividade elétrica durante o processo do tratamento, mantendo assim as características do efluente.

Observou-se também que para o tratamento de efluente de laticínio, o processo de filtração usando filtros de areia aumentou significativamente a eficiência de remoção para a maioria dos parâmetros analisados com ambos os coagulantes.

Os resultados obtidos por meio da análise estatística indicaram que a comparação das médias pelo teste de Tukey mostrou que para a maioria dos ensaios realizados, as diferentes concentrações utilizadas não tiveram efeito significativo na eficiência do tratamento, indicando que o fator quantitativo não teve forte influência durante este estudo, principalmente para o coagulante natural.

Ambos os coagulantes utilizados apresentaram resultados positivos de eficiência de remoção para os parâmetros analisados, indicando que a *Moringa oleifera* pode tornar-se uma fonte alternativa de uso de coagulante se esta for utilizada de forma complementar ao coagulante químico, podendo desta forma auxiliar no processo de coagulação e na produção de um lodo com maior biodegradabilidade e com menor potencial poluidor. Recomendam-se estudos sobre o lodo gerado ao se trabalhar com os dois coagulantes em questão.

Para trabalhos futuros, com base nos resultados estatísticos, sugere-se a realização de um estudo mais aprofundado das dosagens ótimas para o coagulante *Moringa oleifera* e que se trabalhe com uma faixa maior de variação da concentração. Sugere-se ainda a correção do pH para a faixa de 6 à 9 devido a alta

basicidade do efluente e a utilização de uma faixa granulométrica maior para os filtros de areia.

REFERÊNCIAS

AISSE, Miguel. M et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de flotação. In: Chernicharo, Carlos. A. de L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, 2001.

AISSE, Miguel. M.; JÜRGENSEN, Décio; SOBRINHO, Pedro A. Avaliação do sistema reator Ralf e flotação por ar dissolvido no tratamento de esgoto sanitário. In: **Sanare**. v. 17, n. 17, p. 49- 58, 2002.

ALCANTARA, Flávio J. V. **Estudo comparativo de dois leitos filtrantes com porosidades distintas em sistemas de dupla filtração para tratamento de água**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22ed. Washington: American Public Health Association, 2012. 1193p.

ANDRADE, LAURA H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso**. 2011. 231 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ARIANO, Gustavo C. **Coagulação, floculação e flotação do efluente de reatores anaeróbios, tratando esgoto sanitário, com aplicação de diferentes dosagens de coagulante em função da variação da turbidez do esgoto afluyente ao longo do dia**. 2009.193 f. Dissertação. (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 76f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2001.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução (CNRH) n. 54 - 28 nov. 2005. Estabelece modalidades, diretrizes para a prática do reúso direto não potável de água e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 mar. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 25 de out. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 25 de out. 2014.

BRIÃO, Vandrê B. **Estudo de Prevenção à Poluição de Resíduos Líquidos em uma Indústria de Laticínios**. 2000. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2000.

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

CASAGRANDE, Luiz E. M. **Sistema de bancada de flotação e filtração-adsortiva para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 2014. 61 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

CASSINI, Aline S. **Estudo de Processos Alternativos no Pré-tratamento de Efluentes Provenientes da Produção de Isolados Protéicos**. 2008. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CERETTA, Maristela C. **Avaliação dos Aspectos da Qualidade da água na Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Cadena - Município de Santa Maria - RS**. 2004.

142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia Técnico ambiental da indústria de produtos lácteos, Série P+L**. São Paulo, 2008. Disponível em:
<http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/laticinio.pdf>
Acesso em: 20 abr. 2015.

DANTAS, Ângela. Di B. **Controle básico de ETAs 1 – Coagulação: nível 2: ReCESA**, 2008.

DELGADO, S.; DIAZ, F. GARCIA, D. OTERO, N. Behaviour of inorganic coagulants in secondary effluents from a conventional wastewater treatment plant. **Filtration & Separation**, v. 40, p.42-46, 2003.

DI BERNARDO, Luiz. **Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração direta**. Luiz Di Bernardo (coordenador) – Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. Projeto PROSAB 498 p.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

DURAN, Karla de Almeida. **Estudo da viabilidade técnica e econômica de troca de Poli Cloreto de Alumínio por Cloreto Férrico no processo de coagulação do tratamento primário de efluente líquido em indústria de produtos lácteos**. 2014. TCC (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Informações técnicas **Estatísticas do Leite**. Produção, Industrialização e Comercialização (Produção). Disponível em:
<<http://www.cnpqgl.embrapa.br/nova/informacoes/estatisticas/producao/producao.php>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

FAGUNDES, Thalita S. **Uso de polímero natural a base de amido como auxiliar de floculação no pós-tratamento de efluentes UASB com flotação por ar dissolvido**. 2010. 111 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FARIA, E. A.; RODRIGUES, I. C.; BORGES, R. V. **Estudo do impacto ambiental gerado nos corpos d'água pelo efluente da indústria de laticínio em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2004.

FELICI, Elson M. **Coagulação-floculação-sedimentação como póstratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2010.

FERREIRA, Renata P. **Uso de coagulantes naturais como pré-tratamento de efluente de laticínio**. 2012. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FONSECA, Christiane F. **Uso combinado de processos de separação visando a destoxificação de hidrolisado hemicelulósico**. 2011. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2012.

FORTINO, Patrícia. **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processos de separação por membranas**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FRANCISCO, ADRIANA R.. **Coagulação com *Moringa oleifera* seguida da filtração lenta na redução de oocistos de *Cryptosporidium* spp. por simulação com microesferas de poliestireno**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2012.

FRANCO, Monalisa. **Uso de coagulante extraído de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2010.

FREITAS, Alice M. de. **Qualidade das águas fluviais: estudo de caso da bacia hidrográfica de Jacarepaguá - RJ**. 2009. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GALLÃO, M.I., DAMASCENO, L.F., BRITO, E.S. de. Avaliação química e estrutural da semente de Moringa. **Revista Ciência Agrônômica**, v.37, n.1, p. 106-109, 2006

GOMES, Sandra R. F. **Tratamento de Efluentes para Reúso de Água: Estudo de Caso de uma Indústria Petroquímica**. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2012.

HAGEMANN, Sabrina E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: Editora Átomo, 2010.

MADRONA, Grasiela S. et al. Study of the Effect os saline Solution on the Extraction of the *Moringa oleifera* Seed's Active Component for Water Treatment. **Water, Air, Soil Pollut.** v. 211, pp. 409-415. 2010.

MAIA, J. C. C; BEZERRA, J. F.M. **Aplicação de flotação por ar dissolvido no tratamento de despejos líquidos industriais**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, 1981.

MARTINS, Gilberto A. **Estatística Geral e Aplicada**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas S. A, p. 237- 238, 2006.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 4. Ed. Mc Graw Hill. New York, 2003.

MORETI, Livia de Oliveira Ruiz et al. EMPREGO DAS SEMENTES DE MORINGA OLEIFERA LAM, COMO COAGULANTE ALTERNATIVO AO POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC), NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS POTÁVEIS. **e-Xacta**, v. 6, n. 1, 2013.

NETTO, José M. A. e RICHTER, Carlos A. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher LTDA. 1991.

OKUDA, T.; BAES, A., U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Improvement of Extraction Method of Coagulation Active Components from Moringa Oleifera Seed, **Water Research**, v. 33, n. 15, p. 3373-3378. 1999.

ONU (Organização das Nações Unidas). **World population projected to reach 9.6 billion by 2050– UN report**. 2013. Disponível em: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=45165&Cr=population&Cr1=#.U1bBZvk7uSr>. Acesso em 22 abr. 2015.

PARANÁ (Estado). Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA. Resolução 70/2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Curitiba, PR, 11 de agosto de 2009. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf>. Acesso em: 30 de out. 2014.

PARANÁ (Estado). Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA. Resolução 81/2010. Dispõe sobre Critérios e Padrões de ecotoxicidade para o Controle de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais no Estado do Paraná. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Curitiba, PR, 19 de outubro de 2010. Disponível em: <http://www.cema.pr.gov.br/arquivos/File/Resolucao_81_ecotoxicidade.pdf>. Acesso em: 30 de out. 2014.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

PENNA, Kirlene S. F. **Remoção de óleo do meio filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia**. 2009. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PRASAD, R. K. **Color removal from distillery spent wash through coagulation using *Moringa oleifera* seeds: Use of optimum response surface methodology**. *Journal of Hazardous Materials*, n. 165, p. 804-811, 2009.

REBOUÇAS, Aldo da C.; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006.

SANTOS FILHO, Davino Francisco dos. **Tecnologia de tratamento de água: água na indústria**. São Paulo, Nobel, 1985.

SANTOS, Hélio R. **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leite expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com**

remoção de partículas por sedimentação ou flotação. 2006. 331 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

SCHMITT, Dalila M. F. **Tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios pelos processos combinados coagulação/floculação/adsorção/ultrafiltração utilizando a semente de *Moringa oleifera* como coagulante.** 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2011.

SILVA, Cleuza A. **Estudos Aplicados ao Uso da *Moringa oleifera* como Coagulante Natural para Melhoria da Qualidade de Água.** 2005. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SOBRINHO et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de flotação. In: **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: Prosab, 2001.

TCHAMANGO, S. et al. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. **The Science of the total environment**, v. 408, n. 4, p. 947–52, 15 jan. 2010.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Decentralized systems technology fact sheet – Recirculating sand filter.** Washington. 1999.

VAZ, Luiz Gustavo de L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia.** 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VERSIANI, Luís C. F. **Caracterização das propriedades coagulantes e adsorventes de íons Cd(II) em soluções aquosas apresentadas por biomateriais derivados da *Moringa oleifera*.** 2008. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.

VIEIRA, Angelica M. S. et al. Use of *Moringa oleifera* seed as a natural adsorbent for wastewater treatment. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 206, n. 1-4, p. 273–281, 5 jun. 2010.

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

VOURCH, Mickael. et al. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, v. 219, n. 1-3, p. 190–202, jan. 2008.