

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PAULO HENRIQUE RODRIGUES

**COMPARAÇÃO DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO
UTILIZANDO OS COAGULANTES POLICLORETO DE ALUMÍNIO E
SULFATO DE ALUMINIO NO TRATAMENTO DE UM EFLUENTE
TEXTIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

PAULO HENRIQUE RODRIGUES

**COMPARAÇÃO DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO
UTILIZANDO OS COAGULANTES POLICLORETO DE ALUMÍNIO E
SULFATO DE ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE UM EFLUENTE
TEXTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial da obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

COMPARAÇÃO DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO UTILIZANDO OS
COAGULANTES POLICLORETO DE ALUMÍNIO E SULFATO DE ALUMÍNIO NO
TRATAMENTO DE UM EFLUENTE TEXTIL

por

PAULO HENRIQUE RODRIGUES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16:40 hs do dia 02 de Fevereiro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Me^a. Paula C. Souza
(UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Eudes José Arantes
(UTFPR)

**Prof^a. Dr^a. Rafael M. S. de
Oliveira**
(UTFPR)

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**
Coordenador do Curso de Engenharia Civil:
Prof. Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

A maior realização do homem só poderia ser concretizada se, de mãos dadas com o esforço, estivesse a fé incondicional em Deus. É a Ele quem ofereço meu primeiro muito obrigado.

Gostaria também de agradecer a quem sempre esteve do meu lado, em todos os momentos, a quem me ensinou o que é certo, a quem sempre me mostrou o melhor caminho a seguir e, principalmente, a quem respeitou e me incentivou a sempre seguir meus sonhos. A minha família, em especial a meus pais (Henriqueta e Paulo), minha tia (Néia) e minha avó (Luzia), obrigado.

Também a quem nunca mediu esforços, tempo ou conhecimento para me orientar de modo que este trabalho, e muitos outros da minha vida acadêmica e profissional, fossem realizados da maneira correta. Agradeço a dedicação e amizade da minha Orientadora Prof. Me. Paula Cristina de Souza.

Aos que embarcaram nessa jornada comigo sem perguntar por que, como ou pra que. Aos que sempre estiveram ao meu lado em horas de análises e experimentos, Aos que passaram férias comigo dentro de um laboratório ou ainda na biblioteca. Aos que, carinhosamente tem o título de “família”. Aos meus companheiros de IC, e também meus irmãos, Vanessa e Othon, meus sinceros agradecimentos.

Entrar em uma universidade é um sonho magnifico que começa a ser abalado com as primeiras provas e trabalhos. Esse sonho só não vira pesadelo porque anjos são colocados no nosso caminho para nos ajudar, sejam esses: que já te acompanhavam antes (Marina, Luana, Matheus, Eduardo, Lívia, Lorena, Guto, Kassia), conquistados logo nos primeiros dias (Caroline, Liziê) ou ainda agregados durante os anos (Fernando, Marcos, Luana, Vanessa, Othon, Lilian, Lara, Sandra, Ana, Jullian, Alexia, Maria, Laís, Gi, Heineken e tantos outro...).A vocês que sempre me ajudaram, seja com palavras, gestos, festas ou horas seguidas de estudo. Muito obrigado!! Vocês sempre estarão no meu coração.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente me ajudaram a enfrentar as barreiras e prosseguir. Aos que me apoiaram emocional e financeiramente, e aos envolvidos na realização desse sonho. Meus mais sinceros obrigados, sem vocês nada disso seria possível.

It is our choices that show what we truly are, far more than our abilities. – Alvo Dumbledore (J. K. Rowling), 1997.

São as nossas escolhas que revelam o que realmente somos muito mais do que as nossas qualidades – Alvo Dumbledore (J. K. Rowling), 1997.

RESUMO

RODRIGUES, Paulo H. Avaliação do processo de coagulação/floculação utilizando o coagulante policloreto de alumínio no tratamento de um efluente têxtil. 2014. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014

A fabricação de tecidos bem como o beneficiamento do mesmo é uma vertente de trabalho que acompanhou o crescimento de todo o mundo. Foi um marco da revolução industrial em alguns países e, ainda nos dias de hoje, é um dos ramos empresariais que mais produz. Contudo, a indústria Têxtil tem com um dos seus principais insumos, a água, a qual é utilizada para lavagem do tecido e ainda como meio de transportes para partículas excedentes de corantes, graxas, etc. O reuso dessa água, é um fator de extrema importância e, por isso, foram estudadas alternativas de tratamento que sejam eficientes e com um menor custo de execução. Para a realização deste foram feitos estudos em literaturas nacionais e estrangeiras, de modo a encontrar os melhores parâmetros e formas de tratar efluente, bem como uma alternativa de coagulante para comparar com o tradicional usado na maioria das empresas (Sulfato de Alumínio). Os experimentos práticos foram realizados no laboratório de saneamento da UTFPR, campus Campo Mourão e as amostras coletadas de uma lavanderia de jeans local. Com as amostras coletadas e os experimentos processados e analisados com o auxílio de um programa computacional, chegou-se a conclusão de que ambos os coagulantes tiveram praticamente o mesmo desempenho no tratamento do efluente, porém o coagulante PAC se destaca pelo custo, chegando a uma economia de até 57% no final do mês.

Palavras Chaves: Tratamento de Efluente Têxtil, Sulfato de Prata, PAC, Coagulação e Floculação.

ABSTRACT

RODRIGUES, Paulo H. Evaluation of the process of coagulation / flocculation using aluminum chloride coagulant in a wastewater 2014. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014

The tissue manufacturing and processing is a work stream that accompanied the growth of the world. Was a landmark of the industrial revolution in some countries and, today, ai a business industries producing more. However, the textile industry Its main input the Water, used in tissue washing and as a means of transportation to as a means of transport for excess dye and grease particles. The water reuse is an important fator and, for this, treatment options were studied to be more efficient and lowest. To carry out this been studies in national and foreign literature finding the best means to treat the efluente and the best coagulante to compare with the traditional (aluminum sulfate). Experiments were performed in the sanitation laboratory of UTFPR, Campo Mourão. The samples were collected at a local Jeans laundry. With the collected and processed samples with the software's aid concluded that the coagulants have about the same performance, but the CAP showed a savings of 57% at the end of the each month.

Keywords: treatment of textile effluents, aluminum Sulfate, PAC, Coagulation and flocculation

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - QUANTIDADE DE EFLUENTE GERADO POR CADA ETAPA DE BENEFICIAMENTO DO TECIDO	17
QUADRO 2 - PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTE.	18
QUADRO 3 - EXIGÊNCIAS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS TÊXTEIS – DIRETO E INDIRETO.....	25
QUADRO 4 - PARÂMETROS REFERENTES À DQO, DBO, FERRO, ZINCO E ALUMÍNIO DO EFLUENTE BRUTO NO PERÍODO DE COLETA.....	33
QUADRO 5 - PARÂMETROS REFERENTES À COR, TURBIDEZ E PH DO EFLUENTE BRUTO NO PERÍODO DE COLETA.	34
QUADRO 6 - PARÂMETROS REFERENTES SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS, SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS, SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS, SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS FIXOS E SÓLIDOS VOLÁTEIS, NOS MESES DE COLETA.	35
QUADRO 7 - PARÂMETROS REFERENTES A REMOÇÃO DE COR, TURBIDEZ E DQO UTILIZANDO O COAGULANTE PAC.	37
QUADRO 8 - PARÂMETROS REFERENTES A REMOÇÃO DE COR, TURBIDEZ E DQO UTILIZANDO O COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO.....	39
QUADRO 9 - CONCENTRAÇÕES ÓTIMA E RESPECTIVAS PORCENTAGENS DE REDUÇÃO DE COR, TURBIDEZ, DQO E SÓLIDOS PARA O COAGULANTE PAC E SULFATO DE ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL.	40
QUADRO 10 - OTIMIZAÇÃO DOS TEMPOS DE MISTURA NO TRATAMENTO DO EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO O COAGULANTE PAC.	40
QUADRO 11 - OTIMIZAÇÃO DOS TEMPOS DE MISTURA NO TRATAMENTO DO EFLUENTE TÊXTIL UTILIZANDO O COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO.	41
QUADRO 12 - CUSTO ENVOLVIDO NO TRATAMENTO UTILIZANDO OS COAGULANTES PAC, SULFATO DE ALUMÍNIO	432

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - PORCENTAGENS DE REMOÇÃO DE COR, TURBIDEZ E DQO UTILIZANDO O COAGULANTE PAC...	36
GRÁFICO 2 - PORCENTAGENS DE REMOÇÃO DE COR, TURBIDEZ E DQO UTILIZANDO O COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO.....	38
GRÁFICO 3 - COMPARAÇÃO DE TRATAMENTO ENTRE OS COAGULANTES PAC E SULFATO DE ALUMÍNIO	42

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
2.OBJETIVOS	12
2.1.OBJETIVO GERAL.....	12
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2.3.JUSTIFICATIVA.....	13
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1.A INDÚSTRIA TÊXTIL	14
3.2.O EFLUENTE TÊXTIL	16
3.3TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL	18
3.3.1.Coagulação e Floculação e Decantação	19
3.4.COAGULANTES.....	20
3.4.1.Policloreto de Alumínio (PAC).....	20
3.4.2.Sulfato de Alumínio	21
3.5.MÉTODOS DE ANÁLISE	21
3.5.1.Temperatura	21
3.5.2.pH.....	22
3.5.3.Cor.....	22
3.5.4.Demanda Química de Oxigênio	23
3.5.5.Sólidos Totais	23
3.5.6.Sólidos Fixos e voláteis	24
3.5.7.Sólidos Suspensos.....	24
3.5.8.Turbidez.....	24
3.6.LEGISLAÇÃO BRASILEIRA - PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS.	25
3.7.COMPARAÇÃO DE MEDIDAS	26
3.7.1. Teste de Tukey.....	26
4.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	28
4.1.COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS	28
4.2.TRATAMENTO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO.....	29
4.3.ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	30
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1.CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO	33
5.2.TRATAMENTO POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO	35
5.2.1.Determinação da concentração ótima dos coagulantes	35
5.2.2. Otimização dos tempos de mistura e sedimentação	40
5.2.4 Avaliação econômica dos coagulantes em estudo	42
6.CONCLUSÃO	44
7.REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Embora o Brasil possua 8% de água doce do planeta, mais de um terço do mesmo se encontra em situação de escassez quantitativa e qualitativa de recursos hídricos, seja por condições climáticas e/ou principalmente pela poluição das águas superficiais e subterrâneas, por esse motivo a água tem sido encarada como o recurso econômico mais valioso do futuro.

O setor industrial vem se conscientizando em relação a este aspecto, tanto que empresas consideradas grandes poluidoras, como as de papel e celulose, têxtil e alimentícias, tem demonstrado grande interesse em reduzir a poluição causada por seus processos industriais. Dentro do setor têxtil encontram-se as lavanderias industriais, que tem como principal função, realizar o tratamento dos tecidos por meio de operações de desengomagem, amaciamento, estampagem, tingimento, entre outros.

A poluição dos rios causados pelos efluentes da indústria têxtil causam, além da poluição visual provinda dos corantes têxteis que não se fixam as fibras do tecido durante o processo de tingimento, alterações biológicas que interferem nos processos naturais dos corpos de água.

O estudo de novas alternativas capazes de minimizar o volume empregado de água nos processos industriais e também a redução da sua toxicidade é dos principais obstáculos no combate à contaminação ambiental. Para resolver este problema, algumas combinações de técnicas físico-químicas foram testadas, quanto a coagulação química, seguido por sedimentação e absorção, processos de ozonização e de oxidação. Devido ao elevado capital e custos destes métodos de funcionamento, existe uma necessidade de pesquisar métodos mais eficientes e barato com consumos mínimos de químicos e de energia.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é a aplicação de métodos de coagulação/floculação utilizando o coagulante policloreto de alumínio (PAC) no tratamento de efluentes líquidos de uma lavanderia têxtil e compará-lo, por meio de características físico-químicas e econômicas, aos processos de tratamento com coagulantes/floculantes coagulante químico Sulfato de Alumínio, utilizado no tratamento convencional da empresa estudada.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é comparar, por meio da redução das características físico-químicas de cor, turbidez e DQO, a utilização do coagulante químico PAC (policloreto de alumínio) no tratamento de efluentes líquidos real de uma lavanderia têxtil através de métodos de coagulação/floculação com o coagulante sulfato de alumínio.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização do efluente têxtil gerado na lavagem de jeans, determinando parâmetros como: pH, cor, turbidez, DQO (Demanda Química de Oxigênio), sólidos totais, sólidos suspensos.
- Estudo em Jar-Test do pré-tratamento por coagulação/floculação/sedimentação. Utilização um coagulante químico (policloreto de alumínio).
- Otimização dos tempos de mistura e das concentrações de coagulantes.
- Estudo em Jar-Test do pré-tratamento por coagulação/floculação/sedimentação. Utilização um coagulante químico sulfato de alumínio.
- Avaliação e comparação da eficiência dos dois coagulantes nas melhores condições operacionais determinadas nas etapas anteriores através do programa Action, visando a reutilização do efluente tratado na lavagem de roupas.

2.3. JUSTIFICATIVA

A crescente demanda, a escassez e o uso inadequado, estão apontando a questão da água como um dos mais graves problemas da humanidade no século XXI.

“A indústria têxtil é uma das maiores produtoras de efluentes líquidos, seu consumo de água varia entre 120 a 180 litros por metro de tecido acabado” (Silva Filho, 1994, p.13). O efluente têxtil contém inúmeras substâncias contaminantes, devido à intensa utilização de produtos químicos, que podem causar danos ao meio ambiente se não forem adequadamente removidos ou tratados.

A preocupação com a estética e a qualidade do ambiente atingido por efluentes coloridos leva a busca de alternativas de descoloração, o que constitui um dos grandes desafios enfrentados atualmente. Na prática o que se observa é que alguns processos adotados por empresas para remoção da cor são eficientes do ponto de vista técnico, entretanto, economicamente inviáveis, para a realidade do setor têxtil no Brasil. As indústrias têm buscado alternativa que minimizem os custos para o tratamento da água. Com isso, o desenvolvimento de novas tecnologias adequadas para o tratamento deste efluente tem sido objetivo de grande interesse industrial e acadêmico, pois, permitem a racionalização do uso da água e a redução da sua carga poluidora.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria de tecidos foi, no Brasil, o estopim da revolução industrial e vem, desde então, contribuindo fortemente com a economia do país.

A confecção de tecidos sempre existiu no Brasil, mas foi a partir do século XX que esse setor teve seu maior crescimento devido às atividades industriais. Esse crescimento vetorial trouxe a necessidade de novos métodos de produção, e conseqüentemente, novos produtos. (BELTRAME, 2000) Paralelo ao crescimento industrial, as primeiras tendências de moda afloravam, forçando as empresas têxteis a desenvolverem novos tecidos, novos cortes e, principalmente novas cores.(IMMICH, 2011)

Com a implantação desses novos processos e a alta demanda de produção, as fábricas pouco se importavam com a grande concentração de efluente gerado no processo, e não o dava uma destinação correta. (VAZ, 2010) O acúmulo desse efluente nos rios acarretaram, em diversos locais, o que hoje é chamado de Impacto ambiental.

As empresas desse setor no Brasil, apesar de faturarem como empresas grandes, são, na maioria dos casos, de médio e pequeno porte e se concentram, principalmente, nas regiões sudeste, sul e nordeste. (BELTRAME, 2000)

O Brasil encontra-se entre os dez maiores produtores de fio do planeta, tendo com principal matéria prima o algodão. Segundo dados da ABIT (2006), o setor têxtil do Brasil é composto por mais 30 mil empresas em toda a cadeia produtiva, com participação em torno de 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional.

A indústria têxtil tem destaque mundial em questão de números de produção e de trabalhadores, assim como é caracterizada pelo seu consumo grande de água, corantes e produtos químicos em sua linha de produção, consumindo cerca de 100 m³ de água na produção de 1 tonelada de produção.(HASSEMER; SENZ, 2002, p.45)

É um consenso entre autores como Beltrame, 2000 e Quadros, 2005 que, a produção têxtil é um conjunto de processos que dão origem ao tecido. Entre esses processos estão o: Beneficiamento de algodão, a engomagem, a tecelagem, a chamuscagem, a mercerização, a malharia e o tingimento. A figura (1) esboça um fluxograma processual do beneficiamento de algodão, evidenciando os pontos de maior consumo de água e de grande produção de efluente.

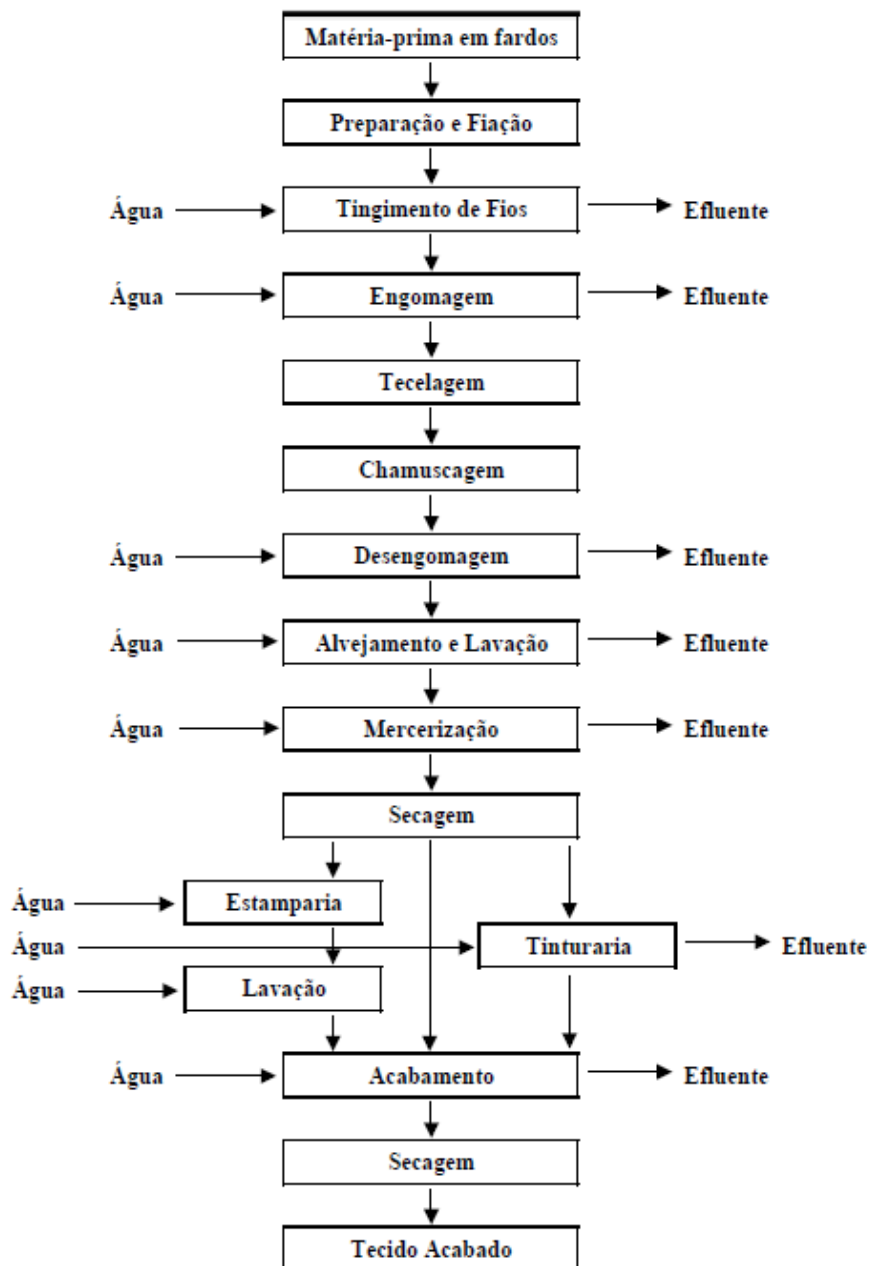


Figura 1 - Fluxograma do processo da indústria têxtil de algodão.
Fonte: Peres & Abrahão, (1999)

De acordo com os estudos de Quadros (2005), processos aos quais são utilizados produtos com composições variadas para a confecção têxtil e que essa miscigenação de formulações gera um efluente rico em “dextrinas, graxas, pectinas, álcoois, aminas graxas, hidróxido de sódio, carbonato de sódio, cloreto de sódio, peróxido de hidrogênio, ácido acético, hidrossulfito de sódio, sulfato de sódio, corantes reativos, corantes dispersos e pigmentos” o que causam uma alta coloração no efluente.

O sistema de confecção têxtil consomem altos volumes de água que tem a finalidade de transportar reagentes que são introduzidos no processo, produzindo efluentes de maneira intensiva. Esses efluentes, quando não tratados corretamente, são nocivos ao meio ambiente.

3.2. O EFLUENTE TÊXTIL

Porto (2002) dias que a indústria têxtil tem como principal finalidade o processamento de fibras. Nesses processos é utilizada uma grande quantidade de água que, combinado os elementos químicos do beneficiamento como: aditivos de cor, gorduras, ceras, PVA etc., dão origem aos chamados efluentes têxteis.

Entende-se por efluente têxtil o despejo em mananciais de tratamento, ou diretamente na rede coletora de esgoto da mistura de água mais resíduos de beneficiamento de tecido. Beltrame (2000) afirma que o maior causador de emissão efluente têxteis é o processo de tingimento aos fios ou tecidos.

A indústria têxtil tem como característica ser a vertente industrial que mais consome água no mundo, chegando a empregar quase 200 litros em um metro de tecido pronto. Essa água tem a função de transportar os aditivos aplicados no processo e, ainda, remover o excesso indesejado dos mesmos. (SILVA FILHO, 1994, p.13);

As características do efluente gerado são variadas e influenciadas a partir da ligação do corante residual e de alguns auxiliares químicos. Essa ligação é a maior responsável pelos altos teores de cor, sólidos, DBO e DQO. (HASSAMER, 2000).

A indústria têxtil gera efluentes com composição extremamente heterogênea e uma grande quantidade de material tóxico e recalcitrante, o que torna seu tratamento mais difícil. Esses efluentes, segundo Cisneros, et. al. (2002) possuem uma grande quantidade de metais pesados como Cr e Cu e compostos orgânicos diversos. Além de apresentarem coloração forte, pH variável, altas temperaturas, coloração pesadas e grandes concentrações de DQO.

Segundo Andrade (2003), Estudos de biodegradabilidade indicam a possibilidade de redução da DBO e DQO dos efluentes de tingimento por tratamento biológico. A remoção da cor é baixa, já que a maioria das moléculas de corante não são biodegradáveis.

No Brasil, as indústrias Têxteis tem um papel significativo quando é interligado aos aspectos ambientais. As operações de limpeza, tingimento e acabamento em uma indústria têxtil dão origem a um grande volume de efluentes (SALES, 1999). A recirculação desses rejeitos e recuperação dos produtos químicos e subprodutos constituem os maiores desafios enfrentados pela indústria têxtil, com o objetivo de reduzir os custos com o tratamento de seus rejeitos.

Se a coloração dos efluentes do tingimento pudesse ser eliminada, estes poderiam ser reutilizados para outros processos como 7 enxágues, limpezas ou tingimentos, com a conseqüente economia do consumo de água (LÓPEZ E GUITARRA, 2000, p.67).

O volume de efluente acumulado vem crescendo de ano após anos no Brasil . Um crescimento que, proporcionalmente, traz problemas até então sem solução eficaz. Essa quantidade alarmante pode ser vista no Quadro (1):

Origem dos despejos	Volume em m³/dia
Tingimento de fios	80
Engomagem	4
Desengomagem e lavagem	864
Purga e lavagem	1 200
Alvejamento e lavagem	1 728
Mercerização e lavagem	1 037
Estamparia	549
Tinturaria	37
Lavagem (ensaboadeira)	1 350
Vaporização	5
Total	6 854

Quadro 1 - Quantidade de efluente gerado por cada etapa de beneficiamento do Tecido
 Fonte: Braile e Cavalcanti, (1993)

3.3. TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL

O tratamento do efluente têxtil tem sido considerado uma das mais importantes categorias de controle da poluição da água, devido à alta intensidade de cor e grande concentração de contaminantes orgânicos (LEE et al 1999, p. 171)

Para o tratamento de efluente têxtil são utilizados diversos tipos de técnicas. Entre elas estão às classificadas como primário, secundário e terciário. Tais processos podem ser visualizados no Quadro (2).

Tratamento	Tipo de Processo	Operação Unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação Sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação Precipitação
Secundário	Biológico	Lodos Ativados Lagoas de esterilização Filtros Biológicos
Terciário	Químico	Coagulação Precipitação Ozonização
	Físico	Clarificação (carvão ativo) Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osmose Reversa Evaporação

Quadro 2 - Processos de tratamento de Efluente.
Fonte: Peres e Abrahão (1998)

Existe um amplo leque de processos para o tratamento de efluentes os quais devem ser estudadas e aplicadas de maneira individual dependendo da relação custo-benefício para determinado efluente. Neste trabalho será utilizado o processo de coagulação e floculação.

3.3.1. Coagulação e Floculação e Decantação

Coagulação é a desestabilização da micela iônica por neutralização de cargas e floculação é a desestabilização por adsorção ou aglomeração dos coloides previamente descarregados (LAGUNAS E LIS, 1998, p.12).

A coagulação é o processo de desestabilização das forças elétricas de repulsão e atração que interagem entre as partículas da solução, permitindo sua agregação (CARDOSO, 2003, p.109). Ou seja, é um processo realizado por meio da adição de um coagulante cuja finalidade é a de transformar as impurezas finas suspensas da água em partículas maiores e mais pesadas..

As partículas coloidais são neutralizadas e aglutinadas em partículas de maiores dimensões através do uso de coagulantes que eliminam a carga eletrostática negativa da superfície das partículas, o que diminui a repulsão entre elas.

O processo ao qual a água ou efluente é submetido a uma agitação constante e suave para que os flocos suspensos no processo anterior (coagulação) se juntem e aumentem de peso e tamanho e, assim, decantem mais rapidamente é chamado de floculação.

A floculação é processo posterior à mistura rápida e tem como objetivo agregar o maior número de partículas primárias desestabilizadas/precipitadas em flocos para que sejam separados por sedimentação ou flotação (CARVALHO, 2008, p.54).

As partículas que foram geradas pela floculação são depositadas no fundo do tanque pela ação da gravidade. Esse processo é denominado decantação. Para que esse processo seja eficiente, o caminho entre o tanque de floculação e o de decantação deve ser curto e suave para que as ligações recém-criadas entre os coloides não se rompam.

3.4. COAGULANTES

Coagulantes são produtos cuja função é formação de flocos por meio da junção das partículas suspensas ou em estado coloidal no efluente. A interação coagulante e sólida aumenta o peso da molécula e desenvolve cargas de superfície nas partículas em suspensão.

3.4.1. Policloreto de Alumínio (PAC)

O Policloreto de Alumínio é um elemento inorgânico poli nuclear de íons de alumínio polimerizados, Tem um aspecto líquido viscoso límpido, de cor âmbar a castanho e é destinado a: tratamento de água e efluente.

O Policloreto de Alumínio é um ótimo coagulante para substâncias suspensas ou coloidais dispersas na água, produzindo bons flocos os quais sedimentam rapidamente para formar um decantado facilmente filtrável.

Vantagens:

- A quantidade de álcalis necessária é reduzida, pois o pH da água permanece praticamente sem alteração, mesmo com grandes quantidades do coagulante;
- Dispensa produtos aditivos para floculação;
- É eficaz em uma ampla faixa de pH (6 á 9);
- Não é influenciado pela temperatura da água;
- É eficiente no tratamento de água de enxurrada.

3.4.2. Sulfato de Alumínio

É o mais antigo produto utilizado para tratamento de água. Com indícios de uso desde o Império Romano o Sulfato de alumínio ainda se mostra eficaz e é usado por inúmeras empresas de saneamento básico pelo mundo.

É um sólido não inflamável obtido pela reação entre ácido sulfúrico e hidróxido de alumínio. Possui baixa toxicidade, embora, em contato direto com a pele possa causar ressecamento e dermatites leves.

É efetivo em uma faixa de pH entre 5,0 e 8,0, dependendo e da turbidez do efluente.

O principal problema encontrado por esse coagulante é a ação nociva dos flocos resultantes desse coagulante pois estes são inorgânicos. Além disso, o coagulante sulfato de alumínio apresenta um lodo gelatinoso e volumoso (VAZ, 2010, p.5)

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISE

O efluente têxtil é composto por várias substâncias. Sendo assim, ele dever ser analisado por uma série de testes e classificados de acordo com características comuns às substâncias que o compõem. Essa caracterização é feita de acordo com a NBR 13402.

3.5.1. Temperatura

A temperatura é um parâmetro importante para a classificação do efluente, pois, influencia na quantidade de oxigênio presente na água. Salvo nos meses de verão, devido ao calor específico da água, a temperatura do efluente é

maior que a do ar. Além disso, os tanques de despejo de efluente costumam ser aquecidos.

A elevação da temperatura torna o oxigênio menos solúvel (a água a 0°C contém uma concentração, quando saturada, de 14 mg/L de oxigênio, a 20°C a concentração é de 9 mg/L e a 35°C é menor que 7 mg/L (BRAILE E CAVALCANTI, 1993, p. 12).

3.5.2. pH

Responsável por determinar a qualidade dos despejos uma vez que identifica os reagentes químicos presentes no meio.

Muitas bactérias utilizadas em tratamento biológico são sensíveis a variações de pH além dos limites de 6,0 a 9,0. Também a fotossíntese pode ser reduzida pela elevação acentuada do pH” (BELTRAME, 2000, p. 134)

3.5.3. Cor

A cor de um efluente pode estar relacionada com sua idade.

Efluentes novos ou recentes, apresentam geralmente uma cor clara, cinza acastanhada. Com o tempo, há um aumento da concentração e de condições anaeróbias e a cor se torna cinza, cinza escuro e em último estágio preta (METCALF & EDDY, 1991, p. 87).

Como em efluentes têxteis a presença de corante é eminente, a cor apresentada pode variar imensamente. Essa presença de cor no efluente, além de poluir visivelmente o ambiente, ainda não deixa que a luz transpasse o efluente para que as algas possam fazer a fotossíntese.

A remoção de cor de efluentes tem como base processos de coagulação e precipitação de corantes. Segundo Hassemer (2000), a escolha do processo ou da sequência do processo de tratamento, depende de uma série de fatores como

características do efluente, qualidade do efluente após o tratamento, custos, disponibilidade de área e disponibilidade tecnológica.

3.5.4. Demanda Química de Oxigênio

A DQO, ou demanda química de oxigênio, é, em termos gerais, a demanda necessária de oxigênio para oxidação dos componentes orgânicos de uma quantidade arbitrária de água residuária apenas por meio de um agente químico, ou seja, sem que haja a intervenção de microrganismos. É um artifício indispensável na caracterização de efluentes e, se usado em conjunto com a DBO é capaz de observar a biodegradabilidade dos despejos.

A DQO é, quase sempre, maior que a DBO (Demanda Biológica de Oxigênio), pois os compostos são mais facilmente oxidados quimicamente do que biologicamente.

“Efluentes têxteis tratados podem apresentar DQO elevada quando no processo não se utilizam detergentes biodegradáveis” (Conchon, 1995, p.14)

Por possuir um processo mais simplificado de análise, a DQO é mais utilizada do que a DBO. Além de que pode-se relacionar DBO com DQO a partir de efluentes de composição conhecida.

3.5.5. Sólidos Totais

Sólidos totais são definidos como a quantidade de resíduos não evaporados quando o efluente é exposto a uma temperatura em torno de 100°C. Tais resíduos são provenientes dos sólidos dissolvidos ou não filtráveis.

3.5.6. Sólidos Fixos e voláteis

Aprofundando-se nos experimentos de sólidos totais é possível ainda descobrir as taxas de:

- Sólidos Fixos: Porção do resíduo total filtrável ou não filtrável, que resta após a calcinação a 550°C por 30 minutos.
- Sólidos voláteis: Porção do resíduo total, filtrável ou não filtrável, que se perde na calcinação da amostra a 550°C por 30 minutos.

3.5.7. Sólidos Suspensos

Quando um efluente é filtrado em uma película de fibra de vidro, resíduos aderem a esse filtro. Essa amostra de resíduo, quando submetido a uma temperatura de, em média, 100°C por um período de tempo, é chamada de Sólidos suspensos.

Sólidos que não podem ser filtrados ficam suspensos no efluente por um período de tempo, ao qual aumentam a turbidez do efluente e impede a fotossíntese. Depois disso decantam e formam uma camada de lodo no fundo do rio.

3.5.8. Turbidez

Propriedade física dos fluidos cuja função é representar a taxa de transparência devido aos coloides suspensos do mesmo. Tais materiais dificultam a incidência do feixe de luz pelo fluido. Além disso agregam uma aparência fosca ao líquido.

Mensurar a turbidez trás como benefício evidenciar mudança na característica do efluente pois, no momento em que o mesmo apresentam elevadas concentrações de turbidez os coloides suspensos refletem a luz impedindo que ela

incida nos organismos aquáticos no fundo, impossibilitando processos biológicos como a fotossíntese (VAZ, 2009, p.79)

A turbidez se dá pelo acúmulo de partículas sólidas suspensas, material orgânico e algas presentes no efluente. Essas partículas têm sua origem da mineração, do solo, do esgoto doméstico ou das indústrias que despejam seus dejetos sem tratamento prévio.

3.6. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA - PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS.

Segundo o Art. 34 “Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005”, os efluentes, independente da fonte, apenas poderão ser lançados, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições padrões e exigências dispostas nesta resolução e em outras normas aplicáveis. A legislação brasileira estabelece, também, que estados e municípios podem ter suas próprias legislações, embora mais restritivas que a federal.

No Quadro 3 estão apresentados alguns limites aceitáveis para o lançamento de efluentes no corpo de água.

Parâmetro	Unidade	Art.1Res.COMANANA 2005
pH	-	5,0 - 9,0
Temperatura	°C	< 40
Cor	mg/L PtCo	75
DQO	mg/L	200
SST	Mg/L	180

Quadro 3 - Exigências para lançamento de efluentes líquidos têxteis – direto e indireto

Fonte: Adaptado de MELO 2005.

3.7. COMPARAÇÃO DE MEDIDAS

Quando no espaço amostral dos experimentos possui médias de tratamento estatisticamente diferentes o pesquisador se pergunta quais são as medidas que diferem entre si e ainda, aplicar um teste para comparar medidas duas a duas. Este teste precisa fornecer a diferença mínima significativa (DMS) dos objetos de estudo.

Toda vez que o valor absoluto da diferença entre duas médias é igual ou maior do que a diferença mínima significativa, as médias são consideradas estatisticamente diferentes, ao nível de significância estabelecida (VIEIRA et al., 1989, p.135).

3.7.1. Teste de Tukey

O teste de Tukey tem como finalidade avaliar a magnitude entre a diferença de diversos tipos de tratamento utilizando um teste de comparação múltipla. Permite ainda testar qualquer diferença entre duas medidas de tratamento.

O teste baseia-se na diferença mínima significativa (DMS) representada pela letra grega Δ como ilustrado na equação (1).

$$\Delta = q \sqrt{\frac{QMRes}{r}} \quad (1)$$

Em que:

q : é o valor da amplitude estudentizada, cujo valor é encontrado em tabelas, em função do número de tratamentos e do número de grau de liberdade do resíduo, ao nível α de probabilidade (em geral 5%)

QMRes: é a estimativa do desvio padrão residual (erro experimental);

r : número de repetições.

Se a media dos tratamentos foi maior que Δ , então o mesmo diferem a um nível α de significância.

Para efeito deste trabalho, o teste de Tukey será feito com auxílio do programa estatístico Action, que é um programa desenvolvido sob a plataforma R, e funciona como uma extensão do Excel.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1. COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras utilizadas neste trabalho provêm de uma lavanderia industrial localizada no município de Campo Mourão, noroeste do estado do Paraná. A lavanderia possui capacidade de aproximadamente 7000 kg por dia, utilizando no processo cerca de 100m³/dia, nos períodos de trabalho com 3 turnos diários (24 horas de funcionamento). Para reduzir e otimizar o consumo de água a empresa trata e reusa a água servida em dois, dos três enxagues tradicionais (o número de enxague altera conforme o beneficiamento empregado).

O efluente final contém poluentes orgânicos e inorgânicos além de uma coloração escura, necessitando de tratamento para despejo final em corpo receptor segundo a norma ambiental CONAMA no 357/2005. Como corpo receptor deste efluente, é utilizado o Rio do Campo, cujo afluente da margem esquerda é o Rio Mourão o qual deságua Rio Ivaí, sendo que suas águas passam nos limítrofes de fundo da propriedade.

A lavanderia em questão trabalha com beneficiamento de Jeans, e foram caracterizadas em relação a sua coloração específica (PtCo APHA e Absorbância), pH, turbidez, sólidos, demanda química de oxigênio (DQO) e demanda biológica de oxigênio (DBO).

As amostras foram distribuídas em recipientes de 600 ml e de 5 litros e armazenadas em geladeiras (10°C), para que as características das mesmas fossem preservadas o máximo possível. Foram empregado os critérios de preservação, acondicionamento e prazo de análise em amostras de efluente recomendado por Camboim (2010).

4.2. TRATAMENTO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO.

Os experimentos de coagulação/floculação foram realizados em equipamento jar-test simples, Milan – Modelo JT 101/6, com regulador de rotação das hastes misturadoras, em temperatura ambiente.

Para a realização do experimento foi empregado à metodologia descrita por Couto Jr (2011), na qual se adiciona diferentes dosagens de coagulantes em uma amostra (500mL) de efluente em béqueres de prova. Para encontrar a concentração ótima do coagulante.

Inicialmente foram adotados os tempos de misturas e sedimentação utilizadas por Couto Jr (2011), ou seja, 5 minutos para o tempo de mistura rápida (TMR), 30 minutos para o tempo de mistura lenta (TML) e sedimentação (SED) de 30 minutos.

Posteriormente buscou-se a otimização do processo de tratamento, diminuindo os tempos de mistura rápida e tempo de mistura lenta.

Após o ensaio de coagulação/floculação as amostras foram mantidas em repouso por um período de 20 ou 30 minutos, para que ocorra a sedimentação do material e então foram analisadas.

Na sequencia foi coletado o sobrenadante da amostra de cada béquer, para análise dos parâmetros, a fim de verificar a eficiência de remoção pela comparação dos resultados com o efluente bruto e do processo de eletrocoagulação.

A determinação dos parâmetros: DQO, cor, turbidez, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS), sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV), foram realizados em duplicatas aplicando os métodos estabelecidos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995), sendo reportado resultados com as unidades, mg O₂/L PtCo-APHA, NTU, e mg/L, respectivamente.

4.3. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

4.3.1. Alcalinidade e Acidez Volátil

As medidas de pH foram realizadas pelo método potenciométrico. Para calibração do aparelho e verificação das leituras obtidas foram utilizados padrões de 4, 7 unidades, dependendo da faixa de leitura requerida pelas amostras.

O pH será medido através de equipamento de pHmetro, que tem o seguinte princípio de funcionamento: uma membrana de fibra de vidro separa dois líquidos de diferentes concentrações de íons H⁺, desenvolve-se nos dois lados da membrana um potencial elétrico proporcional à diferença de pH entre os dois líquidos, o qual é medido em relação a um potencial de referência (eletrodo de Calomelano saturado ou eletrodo de prata/cloreto de prata). Os resultados são expressos em unidades de pH. (APHA, 2005).

Foi utilizado um volume de amostra pré-definido (100 mL), para determinar o valor do pH da amostra.

Com o volume de ácido utilizado para determinação da titulação calculou-se a alcalinidade total em CaCO₃, através da equação 25:

$$Alcalinidade(mgCaCO_3 / L \text{ ou } kg) = \frac{V_a \cdot N \cdot 5000}{amostra} \quad (2)$$

Em que:

V_a = Volume de ácido sulfúrico gasto na titulação, N = Normalidade do ácido sulfúrico e amostra = quantidade de amostra utilizada (mL ou g).

4.3.2. Cor

Aplicou-se a metodologia proposta por APHA (1995), e aplicada por Couto Jr (2011), onde a determinação da cor será efetuada pelo método Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

O método consiste na medida da absorvância da amostra em comparação com solução padrão de platina e cobalto. Para tanto se se utiliza um espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, onde foi realizada a leitura direta sendo os resultados expressos em mg PtCo/L.

O procedimento se da com a entrada, no programa 120 do espectrofotômetro, e ajuste do comprimento de onda de 455 nm no equipamento.

Acrescentasse 25 mL de água destilada “o branco” na cubeta e zera o equipamento. Após, acrescentar 25 mL de amostra na cubeta e realizar a leitura.

4.3.3. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A determinação da demanda química de oxigênio foi realizada através do micro método, segundo American Public Health Association (APHA, 1995), por meio de digestão e quantificação fotométrica a 620nm. Utilizou-se como digestor um reator HACH e, para leitura espectrofotométrica, um espectrofotômetro HACH, modelo DR/2010, no qual era inserida uma curva padrão para os reagentes preparados no método. As determinações das concentrações de DQO nas amostras foram realizadas em duplicatas, utilizando o valor médio.

4.3.4. Turbidez

A turbidez foi determinada a partir de uma pré-agitação da amostra para a dispersão e homogeneização dos materiais presentes. utilizou um espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, para a leitura da turbidez de forma direta, com os resultados expressos em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

4.3.5. Sólidos

O método utilizado determina a porção do resíduo da amostra por meio de pesagem da amostra seca e calcinada. Foi empregado o método sugerido por American Public Health Association (APHA, 1995).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

Com o intuito de caracterizar o efluente bruto, utilizou-se os parâmetros de DQO, Cor, Turbidez, Sólidos Totais e dissolvidos, ao longo de amostras coletadas no período de março de 2013 a Fevereiro do ano de 2014. O Quadro 4 apresenta os dados de DQO e as respectivas datas de coleta.

Coleta	Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L)
03/2013	463
04/2013	860
05/2013	425
06/2013	365
07/2013	285
08/2013	451
09/2013	230
10/2013	2360
11/2013	208
12/2013	263
01/2014	227
02/2014	403

Quadro 4 - Parâmetros referentes à DQO, DBO, Ferro, Zinco e Alumínio do efluente bruto no período de coleta.

Fonte: Aatoria Própria

Analisando o Quadro 4, nota-se uma grande variação nos valores do parâmetro (DQO) durante o período de coleta. Este fato deve-se, provavelmente, aos variados processos de beneficiamento que a lavanderia em questão trabalha e também pelas quantidades de lavagem apresentar grande variação em volume, esses fatores tem como consequência uma grande variação de produtos utilizados

(sabões, detergentes, amaciantes, reagentes, etc) e nos corantes liberados. Essa variação nas propriedades físicas e químicas do efluente ao longo da pesquisa torna o processo dinâmico, e o estudo comparativo ao longo do tratamento mais complexo, sendo assim, percebeu-se a necessidade de condensar os ensaios com cada coagulante, com uma única coleta e em curto espaço de tempo. A partir da obtenção do ponto ótimo foram refeitas as coletas e repetido os ensaios em torno deste ponto, com os três coagulantes e um mesmo efluente.

Coletas	Cor (PtCo/APHA)	Turbidez (NTU)	Ph
03/2013	660	230	6,04
04/2013	1632	463	5,81
05/2013	445	71	3,30
06/2013	1000	144	3,62
07/2013	1098	80	8,31
08/2013	962	223	6,75
09/2013	638	147	6,79
10/2013	12320	4278	5,49
11/2013	1000	84,8	7,81
12/2013	2100	294	7,41
01/2014	2100	123	3,52
02/2014	1700	142	7,30

Quadro 5 - Parâmetros referentes à cor, turbidez e pH do efluente bruto no período de coleta.
Fonte: Autoria Própria

A heterogeneidade do efluente fica evidenciada no Quadro 5, onde se observa a variação da cor, turbidez e pH ao longo do período de coleta. Verifica-se ainda que a variação do parâmetro cor é a característica mais notória do efluente, isso decorre, provavelmente, do fato da variação na coloração do jeans empregado no processo de lavagem e da variação da quantidade de material lavado durante as coletas.

Coletas	Sólidos Suspensos Totais	Sólidos Suspensos Fixos	Sólidos Suspensos Voláteis	Sólidos Totais	Sólidos Fixos	Sólidos Voláteis
01	57	43	14	2690	2238	452
02	61	43	18	1846	1104	742
03	25	15	10	1653	1171	482
04	70	31	39	1762	1284	478
05	25	8	17	2665	1773	892
06	55	22	20	824	290	534
07	97	42	33	1280	857	423
08	648	148	500	3261	704	2557
09	60	28	32,5	2273	1088	1185
10	175	23	153	1803	1365	438
11	232	170	355	7500	3400	4100
12	125	45	80	1890	850	1039

Quadro 6 - Parâmetros referentes Sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos, sólidos suspensos voláteis, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis, nos meses de coleta.

Fonte: Aatoria Própria

De acordo com o Quadro 6, a quantidade de sólidos presentes no efluente acompanha a mesma variação observada nos demais parâmetros. Essa variação na quantidade de sólidos deve-se principalmente aos diferentes processos empregados no beneficiamento do tecido e dos diferentes tecidos submetidos ao processo de lavagem.

5.2. Tratamento por coagulação/floculação/sedimentação

5.2.1. Determinação da concentração ótima dos coagulantes

Baseado nos parâmetros de cor, turbidez e DQO, foi determinado a concentração ótima dos coagulantes PAC e Sulfato de alumínio para o tratamento do efluente real em questão.

O Gráfico 1 representa as porcentagens de remoção para cada concentração empregada do coagulante PAC, para os tempos TMR-5minutos, TML-30minutos e SED-30minutos.

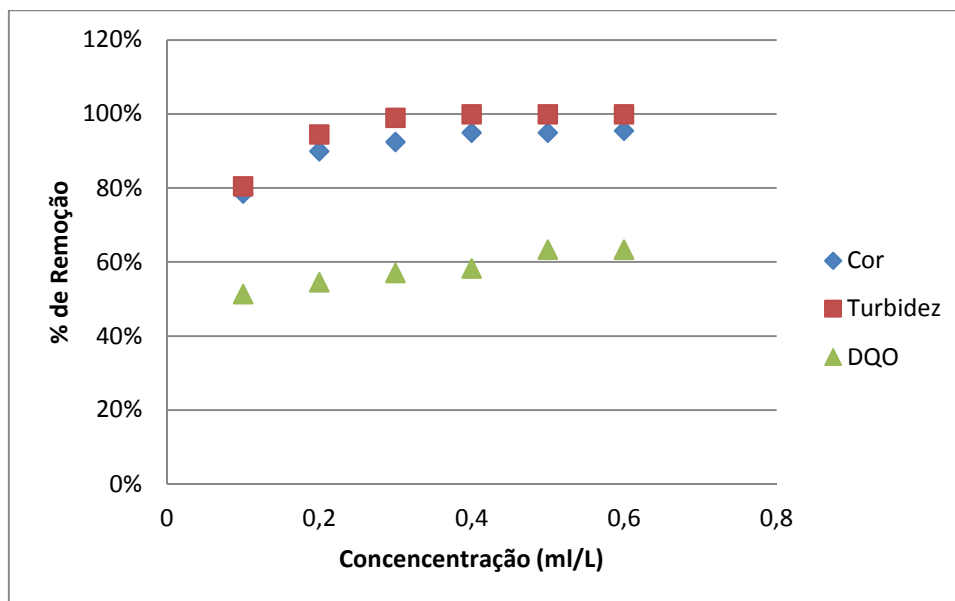


Gráfico 1 - Porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante PAC.
Fonte: Autoria Própria

O Quadro 7 apresenta as porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO de acordo com cada ensaio.

Dosagem (ml/L)	% de Remoção		
	Cor	Turbidez	DQO
0,1	78,5% ^b	80,5% ^b	51% ^a
0,2	90% ^a	94,5% ^a	55% ^a
0,3	92,5% ^a	99% ^a	57% ^a
0,4	95% ^a	100% ^a	58% ^a
0,5	95% ^a	100% ^a	63% ^a
0,6	95,5% ^a	100% ^a	63% ^a

Quadro 7 - Parâmetros referentes a remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante PAC.

Fonte: Autoria Própria

De acordo com o Teste de Tukey, os ensaios que apresentam a mesma letra sobrescrita, referente aos parâmetros investigados, não diferem significativamente. No Quadro 7, observa-se que ao nível de significância de 5%, não existem diferenças significativas entre as dosagens 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 e 0,60 ml/L, para os três parâmetros estudados. Portanto, na dosagem a 0,20 ml/L consideramos o ponto ótimo do coagulante PAC, e para esta concentração obtivemos remoções de 90% de cor, 94,5% da turbidez e 55% da matéria orgânica do efluente.

O Gráfico 2 representa as porcentagens de remoção para cada concentração empregada do coagulante Sulfato de Alumínio para os mesmos tempos: TMR-5minutos, TML-30minutos e SED-30minutos.

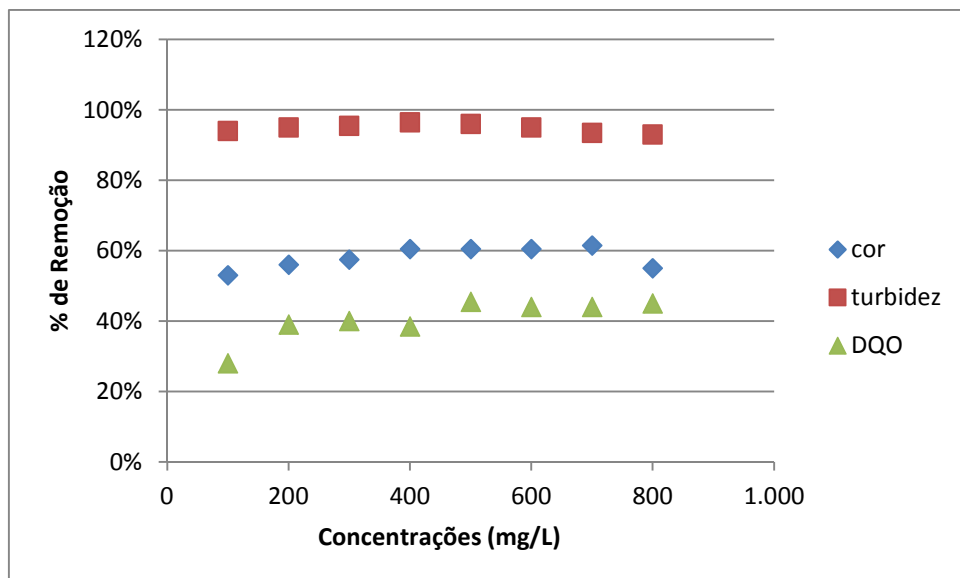


Gráfico 2 - Porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante sulfato de alumínio.

Fonte: Aatoria Própria

Como de acordo com o Teste de Tukey, os ensaios que apresentam a mesma letra sobrescrita, referente aos parâmetros investigados, não diferem significativamente. No Quadro 8, observa-se que ao nível de significância de 5%, não existem diferenças significativas entre as dosagens 300; 400; 500; 600; 700; 800 e 900 mg/L, para os três parâmetros estudados. Portanto, na dosagem a 300 mg/L é considerada como o ponto ótimo do coagulante Sulfato de Alumínio, e para esta concentração obteve-se remoções de 56% de cor, 95% da turbidez e 39% da matéria orgânica do efluente.

Dosagem (mg/L)	% de Remoção		
	Cor	Turbidez	DQO
200	53% ^b	94% ^{ab}	28% ^b
300	56% ^{ab}	95% ^{ab}	39% ^{ab}
400	57,5% ^{ab}	95,5% ^{ab}	40% ^{ab}
500	60,5% ^a	96,5% ^b	38,5% ^{ab}
600	60,5% ^a	96% ^{ab}	45,5% ^a
700	60,5% ^a	95% ^{ab}	44% ^a
800	61,5% ^a	93,5% ^{ab}	44% ^a
900	55% ^{ab}	93% ^a	45% ^a

Quadro 8 - Parâmetros referentes a remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante Sulfato de Alumínio.

Fonte: Autoria Própria

Feito o estudo dos coagulantes, e após encontrar o ponto ótimo, foram repetidos os ensaios, com efluentes de uma mesma coleta (devido a grande variação das características do efluente bruto), e com os mesmos tempos: TMR-5 minutos, TML-30 minutos e SED-30 minutos para ambos coagulantes. O Quadro 9 representa os valores de redução para os parâmetros analisados dos dois coagulantes.

Coagulante	PAC	Sulfato de Alumínio
Concentração	0,2 ml/L	300mg/L
% Cor	83%	82%
% Turbidez	87%	86%
% DQO	40%	39%
% Absorbância	98%	93%
Sólidos Totais (mg/L)	1343	1320
Sólidos Fixos (mg/L)	932	910
Sólidos Voláteis (mg/L)	411	410
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	72,5	129
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	47,5	19
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	25	110

Quadro 9 - Concentrações ótimas e respectivas porcentagens de redução de cor, turbidez, DQO e sólidos para o coagulante PAC e sulfato de Alumínio no tratamento de efluente têxtil.
Fonte: Autoria Própria

5.2.2. Otimização dos tempos de mistura e sedimentação

Depois de estabelecidas a melhor concentração do coagulante estudado foi realizada uma otimização dos tempos de mistura do mesmo. Para a realização desta otimização variou-se os tempos de mistura rápida e mistura lenta, conforme especificado nos Quadros 10 e 11, sendo realizados oito ensaios com duplicatas para cada coagulante. Para comparar as médias dos parâmetros empregou-se Teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

Ensaio	% de Remoção		
	Cor	Turbidez	DQO
1	90% ^c	94% ^b	12% ^a
2	91% ^c	94% ^b	12% ^a
3	80% ^{bc}	87% ^b	19% ^a
4	77% ^{abc}	84% ^b	20% ^a
5	58% ^{ab}	51% ^a	28% ^{ab}
6	56% ^a	50% ^a	39% ^{ab}
7	71% ^{abc}	53% ^a	55% ^b
8	58% ^{ab}	51% ^a	55% ^b

Quadro 10 - Otimização dos tempos de mistura no tratamento do efluente têxtil utilizando o coagulante PAC.

Fonte: Autoria Própria

Aplicando o Teste de Tukey, onde as letras subscritas iguais indicam os parâmetros que não diferem significativamente, a um nível de significação de 5%. Portanto, observando o Quadro 10, verifica-se que os ensaios diferem entre si, e que os ensaios 1 ao 4 não possuem diferenças significativas.

Portanto, para o coagulante PAC o tempo de mistura rápida não permite otimização, deve-se manter em 5 minutos, no entanto, os tempos de mistura lenta e sedimentação, podem ser mais baixos, sem comprometer a eficiência do processo.

Ensaio	% de Remoção		
	Cor	Turbidez	DQO
1	56% ^a	95% ^d	39% ^{ab}
2	54% ^a	90% ^{abc}	36% ^{ab}
3	54% ^a	88% ^{ab}	46% ^b
4	53% ^a	88% ^{ab}	40% ^{ab}
5	60% ^a	95% ^d	18% ^c
6	58% ^a	95% ^d	20% ^{cd}
7	70% ^b	91% ^{bc}	34% ^{abd}
8	70% ^b	91% ^{bc}	31% ^{acd}

Quadro 11 - Otimização dos tempos de mistura no tratamento do efluente têxtil utilizando o coagulante sulfato de alumínio.

Fonte: Autoria Própria

O Quadro 11 representa o Teste de Tukey, a um nível de significância de 5% aplicado a otimização do coagulante sulfato de alumínio. Observa-se que para este coagulante a otimização dos tempos afetará significativamente os resultados de remoção dos parâmetros estudados.

Sendo assim, fez-se uma comparação entre os coagulantes e sulfato de alumínio nas suas melhores condições de uso assim como demonstrado no Gráfico 3. Observa-se que, quanto aos parâmetros de redução de cor, turbidez, DQO e absorbância os dois coagulantes apresentam desempenho similar.

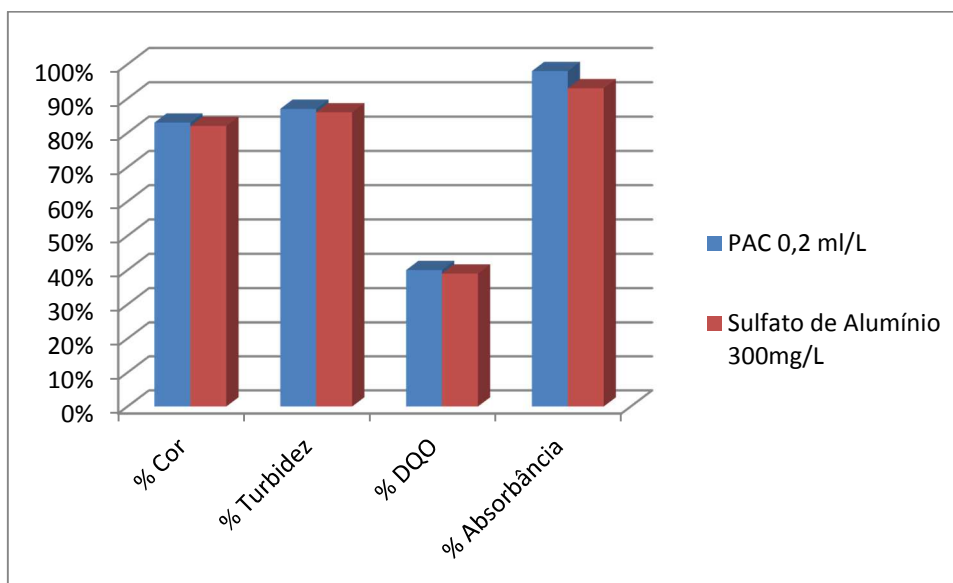


Gráfico 3 - Comparação de tratamento entre os coagulantes PAC e Sulfato de Alumínio
Fonte: Autoria Própria

5.2.4 Avaliação econômica dos coagulantes em estudo

Com o objetivo de proporcionar uma visão dos aspectos econômicos envolvidos na aplicação dos coagulantes no tratamento do efluente na lavanderia, foi estabelecido um comparativo de custos para cada coagulante, tomando-se como base as condições ótimas obtidas nos ensaios, conforme é demonstrado no Quadro 12.

Coagulante	PAC	Sulfato de Alumínio
Vazão da Lavanderia	100 m ³ /dia	100 m ³ /dia
Custo do PAC	R\$ 0,87 / L	R\$ 1,37 / kg
Concentração ótima encontrada	0,2 L / m ³	300 g/ m ³
Dias de funcionamento	30 dias	30 dias
Custo estimado	R\$ 522,00 mês ⁻¹	R\$ 1.233,00 mês ⁻¹

Quadro 12 - Custo envolvido no tratamento utilizando os coagulantes PAC, sulfato de alumínio
Fonte: Autoria Própria

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos foram analisados quanto aos parâmetros pré-estabelecidos e chegou-se as seguintes conclusões.

A utilização dos coagulantes PAC e sulfato de alumínio demonstraram ser uma boa opção para o tratamento do efluente têxtil em estudo, observando a concentração no ponto ótimo para o tratamento dos referidos coagulantes como sendo 0,2 mL/L para o PAC e 300mg/L para o sulfato de alumínio. Para estas concentrações o melhor desempenho para a remoção de cor foi obtido para o coagulante PAC (83%), embora o coagulante sulfato de alumínio apresente um desempenho semelhante para este parâmetro 82%. O mesmo ocorre com a turbidez e a DQO. Como o coagulante utilizado na indústria para o tratamento do seu efluente para reuso é o sulfato de alumínio, este resultados indicam que o PAC teria um desempenho similar quanto a redução da cor , turbidez e DQO.

Quanto aos limites impostos pelo CONAMA para lançamento deste efluente no corpo de água, ambos coagulantes atenderam aos requisitos.

Tendo praticamente a mesma eficiência de tratamento, um ultimo estudo foi realizado para comparar os dois coagulantes. Realizando um comparativo de custo entre os dois coagulantes, o maior custo se deu para o sulfato de alumínio, correspondendo à R\$ 1233,00 mensais. Se comparado o coagulante PAC com o coagulante sulfato de alumínio, atualmente utilizado na lavanderia, o uso do PAC permite uma economia mensal de 57% no tratamento do efluente, sendo que para a redução de cor, DQO e turbidez não apresentam diferenças significativas.

7. REFERÊNCIAS

ABIT (2006). **Conjuntura do Setor**. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>. Consultado em 20 de Junho de 2014.

ANDRADE, FLÁVIO DE. **Remoção de cor de efluentes têxteis com tratamento de lodos ativados e um polieletrólito orgânico**. 2003. 45p. Dissertação Mestrado.

APHA-AWWA-WPCF, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th Edição. American Public Health Association, Washington, DC, 1995

APHA-AWWA-WEF, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th Edição. American Public Health Association, Washington, DC, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13402: Caracterização de cargas poluidoras em efluentes industriais e domésticos; Procedimento**. Rio de Janeiro, 1995.

Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento. 2000. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química).

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuária industriais**. 18. Ed., São Paulo: CETESB, 1993.

BELTRAME, Leocádia T C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.2000.

CAMBOIM, Ricardo A. **Técnica de eletroflotação aplicada na remoção de cores de efluentes têxteis**. 2010. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Iniversidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. 2010.

CARDOSO, M. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água**. 2003. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CARVALHO, MARIA J.H.. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. Dissertação (Mestrado – Pós Graduação em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá, 2008.

CISNEROS, R. L.; ESPINOZA, A. G.; LITTER, M.I.; **Chemosphere**, 48, p. 393, 2002.

CONCHON, J. A. Indústria têxtil e o meio ambiente. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (40), 13-16, 1995.

COUTO JR, Osório. M. **Tratamento de efluentes da indústria têxtil por coagulação e floculação utilizando polímeros naturais**. 2011. 53f. Dissertação (Mestrado), Universidade do Estado de Maringá. Maringá-PR. 2011.

HASSAMER, MARIA. E. N. **Tratamento de Efluente Têxtil – Processo Físico-Químico com Ozônio e Floculação em Meio Granular**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, SC, 2000.

HASSEMER, M. E. N.; SENZ, M. L. **Tratamento de efluentes de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação**. Engenharia sanitária e ambiental, v. 7, n. 1, p. 30-36, jan./mar. 2002.

IMMICH, Ana Paula Serafini. **Remoção de Corantes de Efluentes Têxteis Utilizando Folhas de Azadirachta Indica como Adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina.

Disponível em <<http://www2.eng.ufsc.br/teses/m164.pdf>> Acesso em 29 de maio de 2011.

LAGUNAS, F. G.; LIS, M. J. **Tratamento de efluentes na indústria têxtil algodoeira**. *Química Têxtil*, São Paulo: ABQCT, (50), 6-15, 1998.

LEE, B.; LIAW, W.; LOU, J. (1999). **Photocatalytic decolorization of methylene blue in aqueous TiO₂ suspension**. *Environmental Engineer Science*. Vol. 16, nº 3: p. 165-175.

LOPEZ, R.; GUITARRA, A.. **Descoloração de águas residuais da Indústria têxtil**. *Química Têxtil*, edição 59: p. 66-69. 2000.

MELO, A. R. **Otimização do reuso de água em lavadores contínuos da indústria têxtil**. 2008. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3. ed., New York: McGraw Hill Inc.. Cap. 1 e 3. 1991

PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. **Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis**. IPT – São Paulo. *Revista Química Têxtil*. Setembro 1998.

QUADROS, S. S. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecidos de algodão**. Dissertação (Mestrado em engenharia química). Universidade Regional de Blumenau/SC, Blumenau, 2005.

SALES, R.. **Cinética de Degradação de Efluente Têxtil por Biofilme em Leito Trifásico Aeróbio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 1999.

SILVA FILHO, M. N. **Produtos químicos utilizados na indústria têxtil e a questão ecológica**. Química têxtil, São Paulo: ABQCT, (36), 11 – 16, 1994.

SILVA, S. S. T. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 87 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz, São Paulo-SP.

VAZ, Luiz G. de L. **Performance Do Processo De Coagulação/Floculação No Tratamento Do Efluente Líquido Gerado Na Galvanoplastia**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, PR. 2009.

VAZ, G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A. , BARBIERO, T. A. e BERGAMASCO, R. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluentes de galvanoplastia**. Eclética Química. Volume 35, N4, 2010.

VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. **Estatística experimental**. São Paulo: Atlas,. 175p. 1989