Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UMA ESTAMPARIA POR COAGULAÇÃO QUÍMICA

Evaluation of the efficiency of the treatment of the effluent of a stamping by chemical coagulation

Mariana De Paula Marques[1], **Nathalia Santos Araújo** [2], **Patrícia Fernandes Gomes**[3], **Humberto Carlos Ruggeri Júnior** [4]

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

PALAVRAS CHAVE:

Efluente de estamparia;
Coagulação química;
Sulfato de alumínio;
Legislação ambiental;
Eficiência do tratamento;

***KEYWORDS*:**

Effluent from stamping;
Chemical coagulation;
Aluminum Sulfate;
Environmental legislation;
Treatment efficiency.

RESUMO: O tratamento de efluentes industriais é fundamental para o atendimento das legislações vigentes e, consequentemente, o lançamento correto em corpos receptores ou sistemas de esgotamento sanitário. Através de ensaios de bancada Jar Test, utilizando o coagulante sulfato de alumínio, foi avaliado a eficiência da tecnologia de coagulação química para o tratamento do efluente de uma estamparia. Foi realizado a caracterização do efluente bruto e ensaios de bancada com pHs de 3, 6, 7 e 8 e variações de dosagens de 450, 600, 750, 900, 1000 e 1500 mg/L. O melhor resultado obtido foi o realizado com pH 8 e dosagem de 450 mg/L, apresentando 99,97% na remoção de cor aparente, 99,95% na remoção de turbidez, 85,58% na remoção de DQO e 88,32% na remoção de sólidos totais. O tratamento físico químico, empregando sulfato de alumínio mostrou-se viável, uma vez que a remoções observadas para Cor, Turbidez, Sólidos Totais e Alcalinidade foram significativas e que tanto as remoções de DQO e Sólidos Sedimentáveis quanto o valor de Temperatura ficaram dentro dos limites permitidos pela legislação da companhia de saneamento do estado de Goiás para o lançamento na rede de esgoto, entretanto, o pH necessitaria de correção. O estudo deixa a possibilidade de investigação do tratamento desse tipo de efluente com outras variações de pH, dosagens, coagulante e ainda testes com outras tecnologias.

ABSTRACT: The treatment of industrial effluents is fundamental for the compliance with the current legislation and consequently, the correct launching in receiving bodies or sewage systems. Through Jar Test benches, using the aluminum sulfate coagulant, the efficiency of the chemical coagulation technology was evaluated for the treatment of the stamping effluent. A raw effluent characterization and bench tests with pHs of 3, 6, 7 and 8 and dosage variations of 450, 600, 750, 900, 1000 and 1500 mg/L were performed. The best result was obtained with pH 8 and dosage of 450 mg/L,presenting 99,97% in apparent color removal, 99,95% in turbidity removal, 85,58% in removal of COD and 88,32% in total solids removal. The physical chemical treatment using aluminum sulfate was feasible, since the observed removals for color, turbidity, total solids and alkalinity were significant and both COD and sedimentable solids removals and temperature values were within the limits permitted by the legislation of the sanitation company of the state of Goiás to launch in the sewage network, the pH would require correction. The study leaves the possibility of investigating the treatment of this type of effluent with other variations of pH, dosages, coagulant and also tests with other technologies.

*** Contato com os autores:**

[1] **e-mail: narf_mariana@hotmail.com (M. P. Marques)**
Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, narf_mariana@hotmail.com
[2] **e-mail: nathi_araujo@live.com (N. S. Araújo)**
Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, nathi_araujo@live.com
[3] **e-mail: patriciafernandesgomes28@gmal.com (P. F. Gomes)**
Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, patriciafernandesgomes28@gmail.com

[4] e-mail: hcruggeri35@gmail.com (H.C. Ruggeri Júnior)
Engenharia Civil, Doutorado em Hidráulica e Saneamento, Docente, Universidade Federal de Goiás, hcrugeri35@gmail.com

ISSN: 2179-0612
© 2017 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

O setor têxtil, que inclui confecções e vestuário, possui grande importância na economia brasileira, pelo fato de ser um forte gerador de empregos, com grande volume de produção e exportações crescentes. Segundo a ABIT (2017), a perspectiva é que o faturamento no setor têxtil e de confecção brasileira aumenta 4,6% em 2017 quando comparado ao ano anterior, e as importações alcancem um aumento de 10% enquanto o de exportações cresça 2%. Além disso, prevê-se a geração de 10 mil postos de trabalho, ante a perda de empregos nos anos de 2015 e 2016, 100 mil e 25 mil respectivamente.

A estampagem é uma das etapas de produção da indústria têxtil, sendo responsável pela geração de efluentes com características diversificadas, produzindo, nesta etapa, em média 549 m^3/dia de volume de efluente segundo Braile e Cavalcanti (1993). Beltrame (2000) diz que, além da presença de cor, os corantes residuais ligados aos auxiliares químicos orgânicos e inorgânicos são responsáveis também pela presença de sólidos dissolvidos e valores elevados de DQO e DBO. Hassemer e Sens (2002) relatam sobre a elevada variação de cargas de efluente têxtil, por exemplo, de DBO e DQO, devido à existência de variações no processo industrial, envolvendo desde a produção até acabamento têxtil, devido a utilização de corantes, produtos químicos variados e tensoativos espessantes, que conferem, ao efluente, características diversas de biodegradabilidade. Hassemer (2006), comenta que além de valores elevados de DBO e DQO (média de 1700 mg O_2/L), os efluentes têxteis são caracterizados por diferentes colorações, pH, temperatura, alguns sais inorgânicos, compostos orgânicos de natureza diversa e até metais pesados.

Dessa forma, a maior questão ambiental relacionada a esse tipo de atividade diz respeito a geração de despejos industriais. Toda e qualquer indústria com potencial poluidor e/ou degradador é responsável pelo tratamento e/ou destinação adequada de seus resíduos, seja ele líquido ou sólido, como forma de minimizar a geração dos possíveis impactos ambientais. Efluentes industriais possuem como uma de suas características a presença de matéria orgânica, a qual em grande volume modifica o funcionamento natural de um ecossistema. Um grande volume de matéria orgânica descartado em um corpo receptor traz o aumento da proliferação de microrganismos, o aumento de atividades respiratórias, o aumento do consumo de oxigênio, trazendo assim valores elevados de DBO (Archela et al, 2003).

Após o tratamento, além da possibilidade de lançamento de efluente industrial em corpos receptores, o lançamento na rede de esgoto é outra opção, desde que se faça estudos e análises de viabilidade e das características do efluente a ser lançado, para que seja garantido a integridade e eficiência do sistema coletor como um todo.

De acordo com Verma (2012) a tecnologia por coagulação química, mesmo com o inconveniente de considerável quantidade de lodo gerado, vem sendo amplamente utilizada para o tratamento de efluentes têxteis, tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento, sendo uma tecnologia possível de se empregar em indústria de larga e pequena escala. Além disso, ainda é possível de otimizar parâmetros como, gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida, temperatura e tempo de sedimentação, que influenciam na eficiência da remoção da cor e consequentemente o aumento da eficiência do processo.

Dessa forma, a proposta de um tratamento para efluente industrial, em específico efluente de estamparia, é de grande relevância para que seja mantida a qualidade ambiental dos recursos hídricos, a conservação da biodiversidade e também integridade dos sistemas coletores de esgoto, além do cumprimento das legislações ambientais sejam elas no âmbito nacional, estadual e municipal referentes ao lançamento de efluentes.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência do tratamento por coagulação química do efluente de uma indústria de estamparia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral fosse alcançado, foi necessário o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

1) Caracterizar o efluente de uma indústria de estamparia;
2) Avaliar os valores de cor aparente, turbidez, alcalinidade, sólidos totais;
3) Analisar e discutir os valores dos parâmetros sólidos sedimentáveis, pH, DQO e temperatura com a legislação da companhia de saneamento do estado de Goiás para lançamento de efluente na rede coletora de esgoto;
4) Avaliar se o tratamento por coagulação química atende a eficiência necessária.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

As legislações ambientais referentes ao lançamento de efluentes industriais tanto em corpos receptores quanto nas redes coletoras de esgotos sanitários são essenciais para a manutenção do equilíbrio entre as atividades antrópicas e um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Para a garantia dessa manutenção, as leis existem nas esferas nacionais, estaduais e municipais como forma de restringir as condições e padrões para lançamento de efluentes, adaptando a realidade de cada localidade. Em nível nacional é a Resolução Nº 357 (CONAMA, 2005) e a Resolução Nº 430 (CONAMA, 2011), que devem ser levadas em consideração na análise das condições e padrões para lançamento de efluente.

Em Goiás, a responsável pelo saneamento do estado, SANEAGO S/A, traz a Resolução Nº 068 (SANEAGO, 2009) que vem dispor sobre o Regulamento dos Serviços de Abastecimento e de Esgotamento Sanitário da empresa. Segundo a resolução, é vedado a qualquer cliente o lançamento irregular, na rede coletora de esgoto sanitário, efluentes de tintas, corantes, ou qualquer produto tóxico que interfiram nos processos de tratamento biológico de esgotos sanitários. Ela traz os limites máximos permitidos dos parâmetros que devem ser atendidos para que o lançamento de efluentes industriais seja realizado corretamente como, por exemplo, DQO até 450 mg/L, DBO até 300 mg/L, Sólidos Sedimentáveis até 20 mL/L, Temperatura até 40 °C e intervalo de pH entre 6 e 10. A NBR 9800 (ABNT, 1987) também traz critérios para o lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário e pode ser utilizada para a verificação da qualidade do efluente a ser lançado caso não exista uma legislação municipal mais restrita o qual seria realizado um estudo.

No trabalho de Pizato et al (2016) foi realizada a caracterização de um efluente têxtil, oriundo de processos de tingimento e lavagem de jeans, em que foi evidenciado a desconformidade dos valores de

alguns parâmetros em relação aos padrões de lançamentos exigidos pelas legislações vigentes. A DQO com valor de 659 mg/L e DBO de 328 mg/L demonstram alto potencial poluidor do efluente, Sólidos Sedimentáveis de 3,5 mL/L e Sólidos Totais de 1187 mg/L mostram a grande quantidade de materiais particulados que existem em efluentes têxteis, além de sólidos dissolvidos totais com valor elevado de 862 mg/L, pH igual a 5,15 e turbidez de 37 NTU, além de outros parâmetros verificados. A caracterização realizada deixou evidenciado a necessidade de tratamento do efluente para o seu correto lançamento, já que o efluente bruto não atende os limites máximos de alguns parâmetros exigidos pela Resolução Nº 357 (CONAMA, 2005), Resolução Nº 070 (CEMA, 2009) referente ao Estado do Paraná e a Resolução Nº 068 (SANEAGO, 2009) caso esse efluente seja encontrado também no Estado de Goiás.

Ntuli et al (2009) em seu trabalho também identificou a desconformidade das características do efluente têxtil em relação a legislação a qual comparou. O efluente oriundo de tingimento e lavagem de tecidos apresentou valor médio de 5849 mg/L de DQO, 2040 mg/L de DBO e 3193 mg/L de Sólidos Dissolvidos Totais, confirmando a alta carga orgânica. Para atendimento as legislações, verifica-se a necessidade de tratamento do efluente gerado nas estamparias antes do seu lançamento na rede coletora de esgoto ou corpo receptor.

3.2 TIPOS DE COAGULANTE

Segundo Beltrame (2000), para as etapas de coagulação e floculação são usadas substâncias que tenham íons positivos para realizar a neutralização de cargas. Sendo essas substâncias normalmente inorgânicas, as mais usadas são: Sulfato de alumínio, sulfato férrico, sulfato ferroso, sulfato cúrprico e mistura destes componentes.

Nos últimos anos houve um interesse por parte das indústrias no desenvolvimento de coagulantes biodegradáveis de origem vegetal, alguns exemplos são o Tanino, utilizado em uma ampla faixa de pH e a Moringa (Stroher et al, 2013). A semente de Moringa tem provado ser eficiente na remoção de material suspenso, abrandamento de águas duras, remoção de turbidez, cor, poluentes orgânicos e DQO. O extrato da semente de Moringa se revelou muito útil no tratamento de água e efluente, pode ser usado como coagulante, desinfectante e adsorvente agente de desidratação (Jami, Hammed e Jamal, 2016).

Um estudo feito por Garzón et al (2011) mostra que a proteína peroxidase extraída da alcachofra pode ser usada como coagulante para a remoção da cor de efluentes têxteis, porém quando se trabalha com peróxido de hidrogênio ele pode ser suprimido, uma vez que apresenta redução de cor acima de 38% com baixos tempos de detenção. Este seria um método alternativo, com baixo custo e menores impactos ao meio ambiente.

O coagulante mais utilizado no Brasil em Estações de Tratamento de Água é o sulfato de alumínio, por possuir um menor custo e alta eficiência, promove coagulação em faixas de pH que variam entre 5,5 e 8,0, já o cloreto férrico é muito usado no tratamento de efluentes domésticos e industriais (Franco, 2009), e também é eficaz na remoção de turbidez, DBO, fosfatos, alguns metais pesados ou venenosos (Arsênio, Selênio e Bário) quando a coagulação é feita com pH elevado (Pavanelli, 2001). Ainda segundo Pavanelli (2001), o Sulfato Férrico pode ser usado em uma ampla faixa de pH e devido ao seu alto peso molecular forma flocos mais densos e o tempo de sedimentação é menor quando comparado ao uso do sulfato de alumínio.

Souza et al (2016) realizou testes de coagulação-floculação-sedimentação em efluente têxtil utilizando três coagulantes: Sulfato de Alumínio, Tanino Vegetal e Policloreto de Alumínio (PAC). Após determinados as dosagens dos coagulantes e o valor do pH, foram realizados testes para determinação da eficiência do tratamento. O coagulante PAC apresentou redução de 95% da cor, 75% da turbidez, e de 60% a 70% da DQO. O coagulante Tanino apresentou redução de 29,76% de cor real, 43,65% de cor aparente,

28,82% da turbidez e 56,45% de DQO e o coagulante sulfato de alumínio apresentou redução de 91,67% de cor aparente, 85% de cor real, 77,14% da turbidez e 53,49% de DQO.

3.3 COAGULAÇÃO QUÍMICA EM EFLUENTES DE ALTA CARGA ORGÂNICA E COLORAÇÃO

O trabalho apresentado por Costa Junior et al (2013) teve como foco principal a verificação da eficiência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico, quanto a remoção dos parâmetros estabelecidos como, pH, Turbidez, Sólidos Suspensos Totais, DQO, DBO, Carbono Orgânico Total, Nitrato e Surfactantes. O equipamento de Jar Test foi configurado para uma mistura rápida de 180 segundos e um tempo de sedimentação igual a 3 horas. O tempo de floculação não foi apresentado. Para o efluente têxtil utilizado teve-se como resultado de melhor pH o valor de 3,64 para o tratamento com sulfato de alumínio, com uma dosagem igual a 960 mg/L. Já para o cloreto férrico, o melhor pH ficou em 2,47 com uma melhor dosagem de 800 mg/L. Os resultados mostraram que o cloreto férrico teve maior eficiência, com remoção de 85,6% de DQO, 88,9% de DBO e 96,2% de turbidez. Utilizando o sulfato de alumínio a remoção de DQO e DBO foram respectivamente de 79,1% e 83,2%.

Por outro lado, no trabalho de Feitosa, Berwanger e Hilgemann (2015), o estudo foi realizado com efluente de lavanderia, caracterizado também pela elevada cor. Os parâmetros verificados foram pH, Cor, Turbidez, Condutividade, Nitrogênio Total e Carbono Orgânico Total. Os processos de coagulação, floculação e sedimentação foram realizados manualmente, utilizando um béquer, adicionou-se 1L da amostra, 1mL de sulfato de alumínio (30%) e 50mL do alcalinizante hidróxido de cálcio (0,15%). Após um tempo de sedimentação de 30 minutos foi observado a sedimentação, explicado pela aglomeração dos flocos de impurezas na amostra. Os resultados demonstraram eficiência no processo, apresentando redução significativa na turbidez, cor e carga orgânica da amostra. Após o tratamento percebeu-se que os limites máximos dos parâmetros para lançamento exigidos pelas legislações analisadas foram atendidos, porém ocorreu uma redução no pH, de 7,64 para 4,24, tornando necessário assim a sua correção para que o mesmo fosse lançado corretamente segundo a legislação apresentada no trabalho.

No trabalho de Bezerra (2006) foi apresentado um estudo sobre a aplicabilidade dos processos de coagulação/floculação/sedimentação como um pré-tratamento para o processo de UV-Peróxido em um efluente têxtil–específico, oriundo de processo de alvejamento de tecidos. Desta forma, foi realizado um estudo da influência do pH em um intervalo entre 3,0 e 12,0 e foram testados–dosagens do coagulante sulfato de alumínio entre 10 e 300 mg/L, sendo possível-verificar os níveis satisfatórios de eficiência. Com a configuração do equipamento Jar Test em 30 rpm para mistura rápida, 10 rpm para mistura lenta e 60 minutos para a sedimentação, os ensaios foram realizados. Como resultado, verificou-se que a eficiência do tratamento aconteceu com o valor de pH-igual a 3,0, tendo um pico máximo em eficiência de remoção de DQO por volta de 30% utilizando uma dosagem de 100 mg/L do coagulante. Para dosagens maiores como, por exemplo, de 200 mg/L a eficiência de remoção da DQO diminui para 19% e a turbidez atingiu remoção de 90%. Logo, recomendou-se o tratamento por coagulação química como um pré-tratamento a outras técnicas secundárias, já que posteriormente com a técnica de oxidação UV/H_2O foi alcançado remoção de 80% da DQO e a turbidez chegou a valores da ordem de 1,8 NTU.

Hassemer e Sens (2002) também realizaram um estudo sobre tratamento de efluentes têxteis com base em ensaios de coagulação/floculação/sedimentação. Utilizou-se como coagulante o sulfato de alumínio a uma solução de 5% e verificou-se a eficiência com a presença ou não de um polímero sintético para auxílio no processo de floculação. Através do ensaio, foi observado que a melhor redução de cor e turbidez ocorreu em pH, igual a 7,27 e a melhor dosagem do coagulante ficou em 500 mg/L, a qual correspondeu a uma absorbância (cor) de 0,052 e uma turbidez de 32,1 NTU para um tempo de sedimentação igual a 7 minutos. O gradiente de velocidade para a coagulação sem utilização de polímero ficou em 600 s^{-1} com um tempo de mistura rápida de 5 segundos, enquanto para o processo de floculação o

tempo utilizado foi de 21 minutos com gradientes por volta de 50, 30 e 20 s^{-1}. Quanto as análises de remoção de cor e turbidez, elas foram realizadas em dois tempos distintos de sedimentação, para 4 e 7 minutos. Sem a utilização de polímero a remoção de cor e turbidez foi de respectivamente 97% e 93% para o tempo de 4 minutos. Já para o tempo de 7 minutos, a remoção de cor e turbidez foi respectivamente de 98% e 95%. Ao final verificou-se que utilização de polímero não trouxe aumento significativo na eficiência de remoção dos parâmetros analisados, mas que o tratamento físico-químico–apenas com sulfato de alumínio traz bons resultados de eficiência. O trabalho realizou também ensaios de coagulação/floculação/sedimentação após o efluente passar pelo processo de ozonização, mostrando que técnicas secundárias a coagulação química trazem resultados mais satisfatórios.

Outro trabalho foi o realizado por Vaz et al (2010), o qual avaliaram a eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez de um efluente de galvanoplastia, cujas características físico químicas, como cor, turbidez e materiais dissolvidos são similares às características dos efluentes têxteis de estamparia. O equipamento de Jar Test foi configurado para velocidades e tempos de misturas rápida e lenta, respectivamente de 120 rpm e 1,5 minutos e 20 rpm e 15 minutos. O tempo de sedimentação foi variado em 20, 30, 40 e 50 minutos. A remoção de cor e turbidez foram mais expressivas e respectivamente 98,13% e 98,78% utilizando o coagulante sulfato de alumínio em uma dosagem de 40 ppm ou 40 mg/L, em um tempo de sedimentação de 20 minutos e trabalhando no pH do efluente bruto de 6,45.

Por fim, em uma análise geral de trabalhos realizados com efluentes caracterizados por alta coloração, alta turbidez, grandes quantidade de sólidos dissolvidos e elevadas concentrações de DQO verificou-se a grande variação de fatores que devem ser considerados e determinados para que se tenha uma eficiência de remoção considerável dos parâmetros, explicado pela distinta característica de um efluente para o outro, como efluentes têxteis no geral (estamparia e alvejamento de tecidos), efluentes de lavagem de galvanoplastia, efluentes sintéticos, dentre outros.

4. METODOLOGIA

O trabalho apresentado teve como base de estudos o efluente industrial gerado pelo processo de estampagem. O efluente foi adquirido de uma pequena indústria de estamparia localizada na Região Metropolitana de Goiânia, estado de Goiás.

A indústria cujo efluente foi estudado já recebe as peças de roupa devidamente cortadas e realizam apenas o processo de silkagem, utilizando os equipamentos: Prensa pneumática, mesa serigráfica e flash cure. A produção é em média 1800 peças de roupa por dia, a geração do efluente não é constante e relativamente baixa, podendo caracterizar a empresa como de pequeno porte.

4.1 AMOSTRAGEM

O tipo de amostragem escolhida foi a composta, que se caracteriza por uma série de amostras simples coletadas durante um determinado período e misturadas para formar uma única amostra homogeneizada. As amostras simples foram coletadas durante dois dias da semana nos períodos matutinos e vespertinos, que são os períodos de funcionamento da empresa, e em seguida foram misturados em galões de polietileno, totalizando 115 litros do efluente. Desta forma foi possível coletar uma amostra que continha toda a variabilidade do efluente da indústria de estamparia, a fim de se ter um resultado representativo.

O tempo de amostragem, o volume coletado e o intervalo entre as alíquotas coletadas foram escolhidas, pois as tintas e corantes utilizados são dos mesmos fabricantes, mudando apenas a pigmentação, então partiu-se do pressuposto de que ao decorrer da semana o efluente não teria grandes

variações. Da forma em que foi coletado conseguiu-se uma amostra composta de várias cores diferentes e que caracterizou o efluente para o caso de no futuro a empresa implementar o processo de tratamento de seu efluente, que necessitará de um tanque de equalização.

4.2 ANÁLISES FÍSICO – QUÍMICAS

O efluente em seu estado bruto teve os seguintes parâmetros analisados: Cor Aparente (uC), Turbidez (NTU), DQO (mg/L), pH, Alcalinidade (mg CaCO3/L), Temperatura (°C), Sólidos Totais (g/L) e Sólidos Sedimentáveis (mL/L). Após o ensaio de coagulação/floculação/sedimentação todas as amostras dos jarros tiveram os parâmetros Cor Aparente e Turbidez analisados. Aquela amostra que apresentou o melhor resultado desses dois parâmetros teve também a realização das análises dos parâmetros DQO, pH, Alcalinidade, Temperatura, Sólidos Totais e Sólidos Sedimentáveis. Todos os parâmetros apresentados foram realizados utilizando métodos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA e WEF, 2012).

4.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

O ensaio de bancada com o equipamento Jar Test é utilizado para simular o tratamento por coagulação química, envolvendo os processos de coagulação, floculação e sedimentação. O equipamento utilizado foi da linha PoliControl, modelo FlocControl II.

O equipamento foi configurado para um tempo de mistura rápida de 20 segundos com um gradiente de velocidade de aproximadamente 193 s^{-1}, tempo de mistura lenta de 20 minutos com gradiente de velocidade de 60 s^{-1} e um tempo de sedimentação igual a 50 minutos (definidos através de testes preliminares não apresentados).

Ao total foram realizados 4 ensaios de bancada, cada ensaio teve um pH definido. Os pH escolhidos para trabalho foram iguais a 3, 6, 7 e 8, sendo que a escolha destes valores também foram em decorrência de ensaios preliminares não apresentados. A dosagem de coagulante utilizada ficou em um intervalo entre 450 e 1500 mg/L. O equipamento possui 6 jarros, o qual cada um comporta 2L de amostra. Para cada jarro foi definido a dosagem de 450, 600, 750, 900, 1000 e 1500 mg/L. A correção de pH antes do ensaio foi realizada com NaOH 6N ou HCl 0,1% de acordo com o pH de ensaio. Ao final de cada ensaio, as amostras foram coletadas a 7 cm acima do fundo do jarro e posteriormente realizada as análises físico - químicas para comparação com os resultados do efluente bruto e verificação do atendimento ou não da legislação vigente da empresa responsável pelo saneamento no estado de Goiás.

O coagulante utilizado no ensaio de bancada foi o Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), que possui característica de composição segundo o Quadro 1. Foi utilizado a uma solução de 20%.

QUADRO 1: Composição físico-química do coagulante.

Composição	**Sulfato de Alumínio PA - A.C.S Al2(SO4)3 (14-18) H20**
Teor (%)	98,0 - 102,0
Cloretos (%)	0,01%
Ferro (%)	0,002
Insolúveis (%)	0,01

Metais Pesados (%)	0,001
Peso Molecular (g)	342,14

FONTE: Marca Synth

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizados os ensaios, foram construídos gráficos com os resultados de cor aparente e turbidez para cada ensaio de coagulação química com o equipamento Jar Test. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados da caracterização do efluente bruto apresentados no Quadro 2. Ressalta-se que para chegar nos valores de Cor Aparente e Turbidez foi necessário realizar diluições, pois o efluente bruto apresentou coloração e sólidos elevados de tal forma que os equipamentos não conseguiram detectar.

QUADRO 2: Caracterização do efluente bruto.	
DQO (mg/L)	2.981,53
pH	6,85
TURBIDEZ (NTU)	25.300
TEMPERATURA (°C)	25
COR APARENTE (uC)	75.500
SÓLIDOS TOTAIS (g/L)	1,95
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)	< 1
ALCALINIDADE (mg CaCO3/L)	160

FONTE: Autoria própria.

O primeiro ensaio realizado com o pH 3 teve como a melhor dosagem de Sulfato de Alumínio o valor de 1000 mg/L, atingindo remoção de cor e turbidez, respectivamente, de 99,95% e 99,93%, como apresentado no Gráfico 1, correspondendo a um valor final de cor de 35 uC e 17,2 NTU como valor final de turbidez.

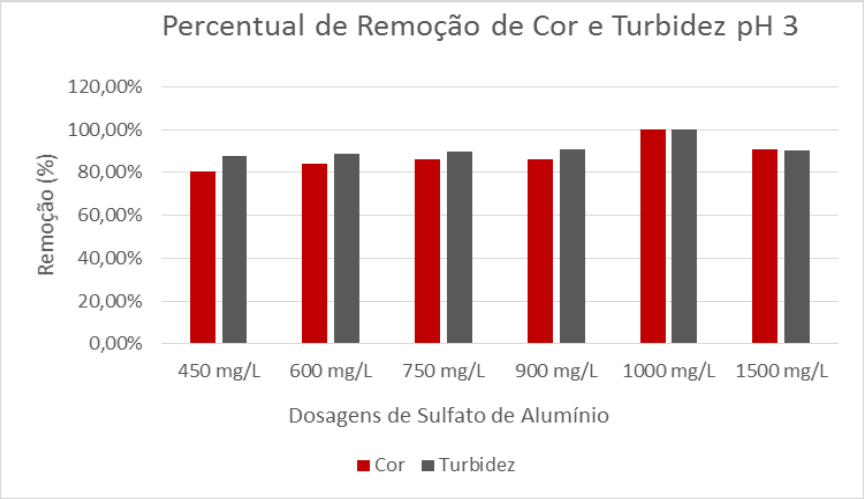

GRÁFICO 1: Percentual de remoção de cor aparente e turbidez para o pH 3.

Assim, para a dosagem de Sulfato de Alumínio de 1000 mg/L do primeiro ensaio, os parâmetros DQO, Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Alcalinidade, pH e Temperatura foram verificados, obtendo valores apresentados no Quadro 3. Em relação a caracterização do efluente bruto, o ensaio de pH 3 com a dosagem de 1000 mg/L apresentou eficiência de 38,1% para a alcalinidade, 20,5 % para Sólidos Totais e 77,8 % para DQO. A Temperatura e os Sólidos Sedimentáveis não tiveram alterações e o pH após o tratamento teve uma diminuição.

QUADRO 3: Resultados das análises para o pH 3 e dosagem de 1000 mg/L.

Parâmetros	**Resultados**
Alcalinidade (mg $CaCO_3$/L)	99
Sólidos Totais (g/L)	1,55
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	<1
pH	6,21
DQO (mg/L)	661,2
Temperatura (ºC)	25

FONTE: Autoria própria

O segundo ensaio realizado teve o pH das amostras ajustado para 6, tendo boa remoção para a cor aparente e turbidez nas dosagens de Sulfato de Alumínio de 450 mg/L e 600 mg/L como apresentado no gráfico 2. A dosagem de 450 mg/L apresentou remoção de 96,16% para a cor aparente, com valor de 2900 uC, e 96,84% para turbidez, com valor de 800 NTU, enquanto a dosagem de 600 mg/L obteve remoção de cor aparente de 99,1%, com valor final de 690 uC e 90,95% para a turbidez com valor final de 2290 NTU.

Diante dos resultados obtidos para as duas dosagens, escolheu-se pela menor 450 mg/L como a melhor dosagem para as análises dos demais parâmetros, pelo motivo de melhor resultado na remoção de turbidez, já que é um parâmetro interferente na carga orgânica do efluente.

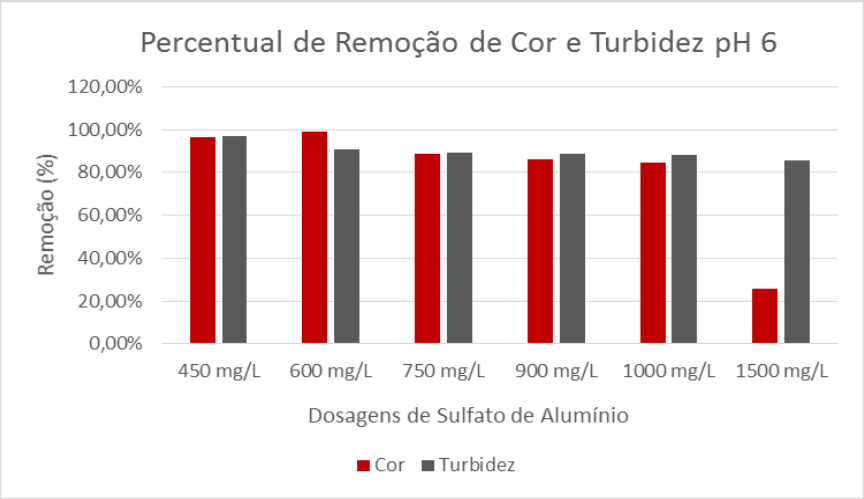

GRÁFICO 2: Percentual de remoção de cor aparente e turbidez para o pH 6.

Assim, os parâmetros Sólidos Totais, Sólidos sedimentáveis, DQO, pH e Temperatura foram verificados para a dosagem de 450 mg/L, os quais foram apresentaram valores segundo o Quadro 4. Os resultados mostraram que comparado aos resultados do primeiro ensaio apresentados no Quadro 3, a remoção de Sólidos Totais foi mais eficiente atingindo percentual 57,4%, porém quanto a remoção de DQO a eficiência foi menor com percentual de 58,9%. Já a Temperatura permaneceu inalterada, no entanto o pH teve uma diminuição considerável, ficando abaixo de 4,5, impossibilitando a análise da alcalinidade. Já os Sólidos Sedimentáveis foram significativos comparado ao primeiro ensaio.

QUADRO 4: Resultados das análises para o pH 6 e dosagem de 450 mg/L.

Parâmetros	**Resultados**
Alcalinidade (mg $CaCO_3$/L)	-
Sólidos Totais (g/L)	0,83
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	27,5
pH	< 4,5
DQO (mg/L)	1125
Temperatura (ºC)	25

FONTE: Autoria própria

O terceiro ensaio foi realizado com as amostras do efluente tendo o pH ajustado para 7, sendo a melhor dosagem para a remoção de cor aparente e turbidez o valor 600 mg/L, resultando em uma remoção de 99,95% da cor aparente e de 99,94% de turbidez, como mostrado no Gráfico 3, fazendo com que esses parâmetros alcançassem os valores de 36 uC e 14,6 NTU respectivamente.

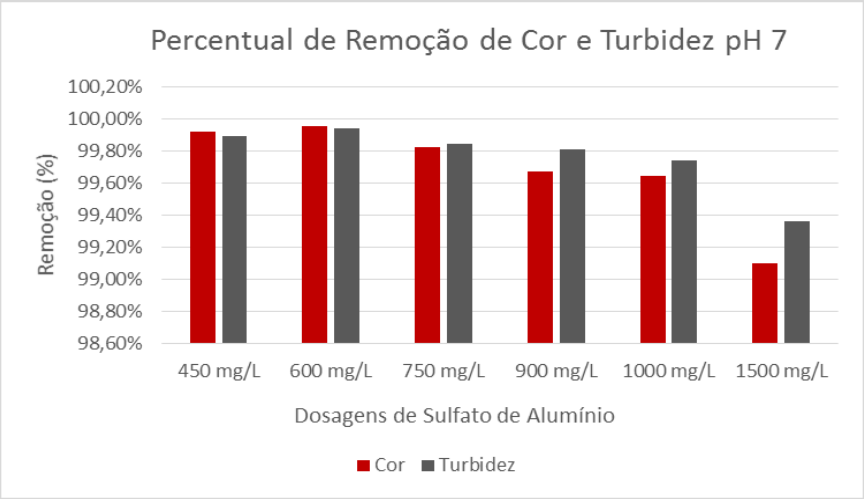

GRÁFICO 3: Percentual de remoção de cor e turbidez para o pH 7.

Tendo afirmado a melhor eficiência da dosagem de 600 mg/L, os parâmetros Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, DQO, pH e Temperatura foram verificados, sendo apresentados no Quadro 5. Os resultados mostraram que o pH 7 proporciona uma maior remoção de Sólidos Totais e DQO, atingindo percentuais de respectivamente 83% e 78,6%. Já os Sólidos Sedimentáveis e a Temperatura não tiveram alterações comparados aos resultados do efluente bruto, todavia o pH após o tratamento ficou menor que 4,5 assim como o segundo ensaio, impossibilitando a verificação da alcalinidade.

QUADRO 5: Resultados das análises para o pH 7 e dosagem de 600 mg/L.

Parâmetros	**Resultados**
Alcalinidade (mg $CaCO_3$/L)	-
Sólidos Totais (g/L)	0,33
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	<1
pH	< 4,5
DQO (mg/L)	636,6
Temperatura (ºC)	25

FONTE: Autoria própria

Por fim, foi realizado um ensaio de coagulação/floculação/sedimentação onde o pH das amostras do efluente foi ajustado para 8, sendo a melhor dosagem de coagulante verificada para a remoção de cor aparente e turbidez o valor de 450 mg/L, o que resultou em uma remoção de 99,97% da cor aparente e de 99,95% da turbidez, como pode ser constatado no Gráfico 4, o que ocasionou em valor de 25 uC para cor e 13,9 NTU para turbidez.

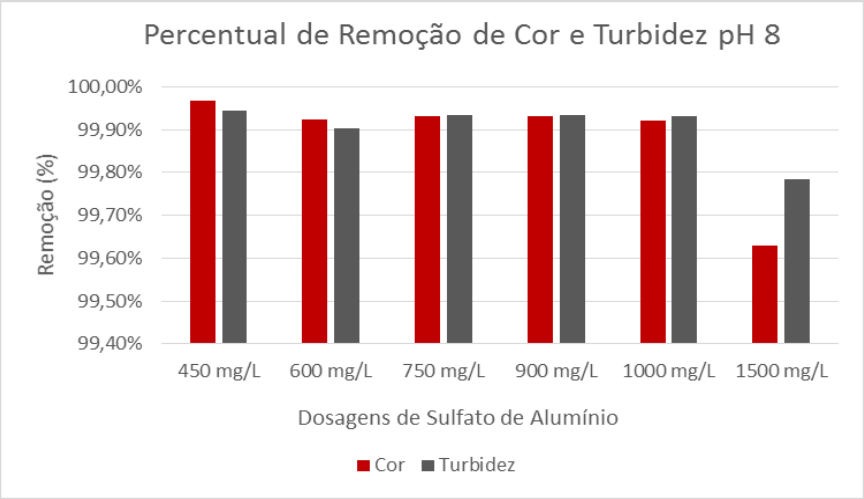

GRÁFICO 4: Percentual de remoção de cor aparente e turbidez para o pH 8.

Sendo a melhor dosagem de coagulante de 450 mg/L, os parâmetros Alcalinidade, Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, DQO, pH e Temperatura foram analisados, e resultaram nos valores apresentados no Quadro 6. Os resultados apresentados afirmam que o pH 8 conseguiu ser o mais eficiente na remoção dos parâmetros, quando comparado aos outros pHs verificados. A alcalinidade atingiu eficiência de 87,5%, os Sólidos Totais de 88,3% e a DQO de 85,6%. Os Sólidos Sedimentáveis não foram visualizados, a Temperatura não teve alteração e o pH apresentou uma redução após o tratamento.

Este último ensaio se aproximou dos resultados do trabalho realizado por Hassemer e Sens (2002), o qual utilizando sulfato de alumínio verificou que a melhor eficiência no tratamento ocorreu com o pH de 7,27 e dosagem de 500 mg/L.

QUADRO 6 : Resultados das análises para o pH 8 e dosagem de 450 mg/L

Parâmetros	**Resultados**
Alcalinidade (mg $CaCO_3$/L)	20
Sólidos Totais (g/L)	0,23
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	< 1
pH	5,78
DQO (mg/L)	430
Temperatura (ºC)	25

FONTE: Autoria própria

Dos quatro ensaios de coagulação/floculação/sedimentação realizados, o escolhido como melhor resultado foi o que apresentou o pH ajustado para 8 e a dosagem de sulfato de alumínio igual a 450 mg/L, isso se deu pelo fato de ser um pH próximo ao pH do efluente bruto e por uma dosagem baixa ter apresentado melhores resultados, tornando o custo com a dosagem de coagulante e correção de pH tanto para o tratamento quanto para o lançamento menores. Confirmando o que foi mostrado na revisão bibliográfica, o sulfato de alumínio promove melhor coagulação em um intervalo entre 5,5 e 8 (Franco, 2009). Dosagens maiores acabam por formar flocos volumosos e mais fracos não sendo assim eficientes para o tratamento desses efluentes.

A partir dos valores obtidos foi possível a comparação com as legislações em vigência para o estado de Goiás, como mostrado no Quadro 7.

QUADRO 7: Comparação dos parâmetros analisados com as legislações.

PARÂMETROS	EFLUENTE BRUTO	EFLUENTE TRATADO COM pH 8 E DOSAGEM 450 mg/L	LEGISLAÇÃO N° 068/2009 SANEAGO	CONAMA 430/2011
DQO (mg/L)	2.981,53	430,04	450	-
Cor Aparente (uC)	75.500	25	-	-
Turbidez (NTU)	25.300	13,9	-	-
pH	6,85	5,78	6 a 10	5 a 9
Temperatura (°C)	25	25	40	<40
Sólidos Totais (mg/L)	1,95	0,23	-	-
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	< 1	<1	20	≤1
Alcalinidade (mg CaCO3 / L)	160	20	-	-

FONTE: Autoras.

Atualmente a indústria estudada lança seus efluentes na rede coletora de esgoto, que teria que atender ao exposto na Resolução Nº 068 (SANEAGO, 2009).

Os valores apresentados no Quadro 7 referentes a Resolução Nº 430 (CONAMA, 2011) são para efluentes lançados diretamente no corpo receptor. O corpo hídrico mais próximo da indústria analisada é o rio Meia Ponte (classe II) e os limites máximos permitidos para o lançamento direto no corpo receptor são os apresentados acima.

A partir dos resultados obtidos segundo o quadro 7, pode-se concluir que quando tratado o efluente pode ser lançado na rede coletora de esgoto se o seu pH for corrigido e pode ser lançado diretamente no corpo hídrico desde que se faça análises de outros parâmetros abordados pela Resolução Nº 430 (CONAMA, 2011).

6. CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, a tecnologia de tratamento por coagulação química se mostrou bastante eficiente para o efluente da estamparia. Foi verificado que a maior remoção dos parâmetros analisados ocorreu com o ajuste do pH para um valor próximo de 8 e dosagem de 450 mg/L. Nessas condições, as quantidade necessárias de coagulante e solução básica na correção do pH para tratamento físico-químico são menores, e a correção do pH para o seu lançamento na rede de esgoto também necessita de menor quantidade de solução básica. Contudo, ainda assim se mostra a melhor opção em comparação com o pH 3 e dosagem de 1000 mg/L que necessita de maiores quantidades de coagulante e solução básica na correção do pH para o tratamento físico químico, aumentando assim os custos.

Também concluiu-se que com o tratamento nas condições de pH 8 e dosagem de coagulante 450 mg/L, o efluente poderá ser lançado na rede de esgoto, desde que haja a correção do pH, seguindo as condições e padrões estabelecidos pela Resolução N° 068 (SANEAGO, 2009), porém para o lançamento em

corpos hídricos ditado pela Resolução Nº 430 (CONAMA, 2011), recomenda-se a análise dos parâmetros DBO, Óleos e Graxas, dentre outros parâmetros inorgânicos.

Os resultados alcançados foram de significativa relevância principalmente quando comparados aos resultados provenientes da utilização de diferentes tecnologias apontadas como de grande eficiência para o tratamento de efluente têxtil, como os processos oxidativos avançados. Porém, recomenda-se que para trabalhos futuros sejam realizados testes de coagulação química com diferentes pHs, diferentes dosagens e outros tipos de coagulantes, a fim de se verificar a variabilidade das condições de tratamento dos efluentes das atividades têxteis.

Por fim, a tecnologia de coagulação química se mostrou bastante eficiente e coerente com a realidade da empresa, pela possibilidade de implementação e operação, porém deve-se atentar para a geração de lodo causada pela tecnologia alinhada com o Sulfato de Alumínio e consequente sua disposição final.

7. REFERÊNCIAS

_____ **Resolução nº 068.** SANEAGO: COMPANHIA DE SANEAMENTO DE GOIÁS**.** Goiás, 2009.

_____ **Resolução nº 357.** CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasil, 2005.

_____ **Resolução nº 430**. CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasil, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS TÊXTEIS. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>, Acesso em: 15 de maio de 2017.

ARCHELA, E; CARRARO, A; FERNANDES, F; BARROS, O.N.F; ARCHELA, R.S. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos**. Geografia**,** [s.l.], Vol. 12 – nº 1 – Londrina /PR: Geografia, 2003, 517–525p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 3p. 1987.

BELTRAME, L..C. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. 2000. 161 p. Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Março/2000.

BEZERRA, A. A. M; GUEDES, R. C; MELO, H. N. S; SOUZA, J. F; JERÔNIMO, C. E. M. **Aplicação da coagulação/floculação como pré-tratamento ao processo UV-peróxido no tratamento de efluentes têxteis**. *In*: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO INTERAMERICANA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXX, 2006.**Anais...** [s.l.] e [s.n.]

BRAILE, P. M., CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 1 ed. Brasil: CETESB, 1993. V1. 762p.

COSTA JUNIOR, S. S; MANGUEIRA, E. S. V; RODRIGUES, E. G. S; DE SENA, R.F; **Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulação/floculação**. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, LIII, 2013.**Anais...** [s.l.] e [s.n.]

FEITOSA, A. K; BERWANGER, L; HILGEMANN, M. **Análise de efluentes de uma lavanderia universitária**. Perspectivas online**.** Vol. 11 – nº 05 – Campos dos Goitacazes/ rj: Perspectivas online, 2015, 17 – 23p, (ISSN: 1984-3151).

FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2009, 207 p.

GARZÓN, M. J. G; GUTIERREZ, J. I. U; ZULUAGA, A. M. S; FLOREZ, O. D. G; SÁNCHEZ, G. L. S; LOBO, T. J. **Decoloración de efluentes textiles que contienen colorantes reactivos empleando extracto de alcachofa.** Producción + Limpia. Vol 6 – nº 2 – Antioquia/ Colombia: Producción + Limpia, 2011, 19–31p.

HASSEMER, M. E. N. **Oxidação fotoquímica – UV/H_2O_2 – para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2006, 175 p.

HASSEMER, M. E. N; SENS, M. L. **Tratamento do efluente de uma indústria têxtil: processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação.** Engenharia sanitária e ambiental. Vol 7 – nº 1 – Rio de Janeiro/RJ: ABES, 2002, 30–36p.

JAMI, M.S; HAMMED, A.M; JAMAL, P. **Moringa oleifera seed extract: A review on its enviromenmental applications. International Journal of applied environmental sciences**. International jornal of applied environmental sciences. Vol 11– nº 6 – Índia, 2016, 1469–1486p. (ISSN 0973-6077).

NTULI, F.; IKHU-OBOREGBE, D.; KUIPA, P.K.; MUZENDA, E.; BELAID, M. (2009) **Characterization of effluent from textile wet finishing operations.** In: World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco. Proceedings... v. 1, 2009, p. 69-74.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. 233 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001, 216p.

PIZATO, E; LOPES, A. C; ROCHA, R. D. C; BARBOSA, A. M; CUNHA, M. A. A; **Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo Lasiodiplodia theobromae MMPI.** Scientific Electronic Library Online, 2016, DOI: 10.1590/S1413-41522017121743

SOUZA, P. C; PEREIRA, N. C; GONÇALVES, M. S; FILHO N. S; RODRIGUES, P. H; JAMARIM, V. M. **Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação**. E-Xacta**.** Vol. 9 – nº 2– Belo Horizonte/ MG: E-Xacta, 2016, 123 – 132p, (ISSN: 1984-3151).

STROHER, A. P; MENEZES, M. L; PEREIRA, N. C; BERGAMASCO, R. **Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans.** Engevista. Vol 15 – nº 3 – Maringá/PR: Engevista, 2013, 255–260p.

VAZ, L. G. L; KLEN, M. R. F; VEIT, M. T; SILVA, E. A; BARBIERO, T. A; BERGAMASCO, R. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia.** Eclética química. Vol. 35 – n° 4 – São Paulo/SP: Eclética química, 2010, 45-54 p.

VERMA, A. K; DASH, R. R; BHUNIA, P. **A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters**. Journal of environmental management**.** Vol. 993 Belo Horizonte/ MG: E-Xacta, 2012, 154 – 168p.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UMA ESTAMPARIA POR COAGULAÇÃO QUÍMICA

Artigo apresentado no Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás.

Aprovado em: 29/11/2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Humberto Carlos Ruggeri Júnior (Orientador) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás.

Prof. Dra. Karla Alcione da Silva Cruvinel – Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás.

Prof. Dr. Renata Medici Frayne Cuba - Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás.

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

Prof. Humberto Carlos Ruggeri Júnior(Orientador)

Em: 12 / 12 / 2017