

Redução de custos e aumento da eficiência no tratamento de efluentes industriais: estudo de caso em uma empresa do seguimento de embalagens do Polo Industrial de Manaus – PIM)

Costs reduction and increased efficiency in industrial effluents treatment. Case study at a packaging company from the Industrial Pole of Manaus

Reducción de costos y aumento de la eficiencia en el tratamiento de efluentes industriales: un estudio de caso en una empresa seguidora del embalaje en el Polo Industrial de Manaus – PIM

Recebido: 24/03/2022 | Revisado: 32/03/2022 | Aceito: 05/04/2022 | Publicado: 12/04/2022

Priscila Bentes Damasceno

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1530-7358>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: priscilabentes.d@gmail.com

Edinaldo José De Sousa Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6786>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: cunhaed@ufpa.br

Resumo

As indústrias de embalagens de papelão ondulado representam uma alta capacidade poluidora por utilizar tintas em seus processos de fabricação convencional. O tratamento do efluente gerado nessas indústrias deve ser eficiente, de modo a promover a remoção dos poluentes constituintes das tintas, evitando que estes cheguem aos corpos receptores. Pois, quando incorporados às águas de abastecimento ofereceram riscos à saúde. Afim de mitigar estes riscos o presente trabalho se propõe a identificar por meio de um diagnóstico aumentar a eficiência do sistema atual adotado pela estação de tratamento de efluente industrial (ETEI) de uma indústria de papel ondulado, com propósito de aumentar a qualidade do efluente final, bem como redução do custo inerente ao descarte do resíduo sólido gerado pelo tratamento (lodo). Foram realizadas intervenções de ordem física estrutural, como instalação de escadas de acesso e ampliação e manutenção de tanques, coletas na entrada e saída do sistema para análises das características físico-químicas do efluente bruto e tratado. Com implantação da proposta de otimização do sistema, teve-se aumento na velocidade e capacidade diária de tratamento, o que permitiu diminuir o acúmulo de efluente bruto em reservatório. As análises físico-químicas do efluente tratado evidenciaram que todos os parâmetros estudados inclusive de DBO e DQO estabelecido legalmente foram atingidos com o tratamento, sendo possível atender às resoluções do Conama 357/05, Art. 34 e Conama 430/11. Além disso houve em média, diminuição de 71% para cerca de 10% da umidade final do lodo e consequentemente significativa redução com os custos de descarte.

Palavras-chave: Tratamento de Efluentes Industriais; Lodo; Redução de custo de operação.

Abstract

The corrugated cardboard packaging industries represent a high polluting capacity by using inks in their conventional manufacturing processes. The treatment of the effluent generated in these industries must be efficient, in order to promote the removal of the pollutants that make up the paints, preventing them from reaching the receiving bodies. Because, when incorporated into the water supply, they offered health risks. In order to mitigate these risks, the present work proposes to identify, through a diagnosis, to increase the efficiency of the current system adopted by the industrial effluent treatment station (ETEI) of a corrugated paper industry, with the purpose of increasing the quality of the final effluent, as well as reducing the cost inherent to the disposal of solid waste generated by the treatment (sludge). Structural physical interventions were carried out, such as the installation of access stairs and expansion and maintenance of tanks, collections at the inlet and outlet of the system for analysis of the physical-chemical characteristics of the raw and treated effluent. With the implementation of the system optimization proposal, there was an increase in the speed and daily treatment capacity, which allowed reducing the accumulation of raw effluent in the reservoir. The physical-chemical analyzes of the treated effluent showed that all the parameters studied, including the legally established DBO and DQO, were achieved with the treatment, making it possible to comply with the Conama resolutions 357/05, Art. 34 and Conama 430/11. In addition, there was, on average, a decrease from 71% to about 10% of the final sludge moisture and, consequently, a significant reduction in disposal costs.

Keywords: Industrial Effluent Treatment; Sludge; Operation cost reduction.

Resumen

Las industrias de embalajes de cartón corrugado representan una alta capacidad contaminante al utilizar tintas en sus procesos de fabricación convencionales. El tratamiento de los efluentes generados en estas industrias debe ser eficiente, con el fin de promover la remoción de los contaminantes que componen las pinturas, evitando que lleguen a los cuerpos receptores. Porque, cuando se incorporaban al suministro de agua, ofrecían riesgos para la salud. Para mitigar estos riesgos, el presente trabajo se propone identificar, a través de un diagnóstico, cómo aumentar la eficiencia del actual sistema adoptado por la estación de tratamiento de efluentes industriales (ETEI) de una industria de papel corrugado, con el propósito de incrementar la calidad de los mismos. el efluente final, así como reducir el costo inherente a la disposición de los residuos sólidos generados por el tratamiento (lodos). Se realizaron intervenciones físicas estructurales, como instalación de escaleras de acceso y ampliación y mantenimiento de tanques, tomas a la entrada y salida del sistema para análisis de las características físico-químicas del efluente crudo y tratado. Con la implementación de la propuesta de optimización del sistema, se incrementó la velocidad y la capacidad de tratamiento diario, lo que permitió reducir la acumulación de efluentes crudos en el embalse. Los análisis físico-químicos del efluente tratado demostraron que con el tratamiento se cumplieron todos los parámetros estudiados, incluyendo la DBO y la DQO legalmente establecidas, lo que permitió cumplir con las resoluciones Conama 357/05, art. 34 y Conama 430/11. Además, hubo, en promedio, una disminución del 71 % a alrededor del 10 % de la humedad final del lodo y, en consecuencia, una reducción significativa en los costos de eliminación.

Palabras clave: Tratamiento de Efluentes Industriales; Lodos; Reducción de costos de operación.

1. Introdução

Com o aprimoramento das técnicas de desenvolvimento industrial, os processos se tornaram agressivos em relação ao uso de compostos químicos (Rocha *et al.*, 2009).

Muito do que se conhece hoje como técnicas de produção de pigmentos, tintas e vernizes está associada à revolução industrial, sendo assim, com a evolução tecnológica no século XX, os conhecimentos, métodos e técnicas acerca do processo de fabricação de pigmentos, tintas e vernizes se evoluíram sem parar até se chegar as tintas à base de água (Souza, 2015).

As indústrias de tintas, que no início utilizavam um processo artesanal e com uso apenas de corantes naturais, hoje dispõem de inúmeros corantes sintéticos que não são biodegradáveis, dificultando o tratamento dos efluentes gerados, mas essas aplicações são decorrentes do próprio mercado consumidor que está exigindo embalagens com impressões mais intensas, sofisticadas e resistentes (Hammes, 2004).

O volume utilização de água no processo industrial de impressão de embalagens de papelão ondulado é muito representativo (Castanho, 2006); a palavra reutilizar é pouco colocada em prática, não se veem processos com reutilização de água tratada, ainda que se deva considerar o processo extremamente complexo de manufatura de embalagens deste segmento (Nicoletti, 2002).

O papelão ondulado precisa ser analisado com muito cuidado devido às suas peculiaridades. Trata-se de um processo de manufatura considerado “*Commodities*” (baixo valor agregado de seus produtos e necessidade de grande escala de produção) que rejeita ao máximo a utilização de celulose fibra longa na fabricação de seus papéis, em razão da necessária importação desta matéria-prima, substituindo-a pela fabricação de papéis reciclados locais (custo mais barato), mas que obriga as fábricas a conviverem com um percentual de refugo consideravelmente maior em sua produção, menor resistência mecânica nos produtos fabricados, maior absorção de umidade e de consumo das próprias tintas, em um processo que não permite “Zero Defeitos”, tendo em contrapartida excessiva exigência de qualidade por seus clientes habituais.

Verificando-se a necessidade de se reduzir os impactos ambientais gerados pelos resíduos sólidos produzidos pelas estações de tratamento de efluentes no Polo Industrial de Manaus percebe-se que é necessário desenvolver técnicas para destinação final adequada e tratamento do lodo. Para isso acredita-se que as ETEI's das empresas devem se adequar buscando soluções a problemática dos resíduos sólidos, uma vez que é preciso rever os modelos de consumo e produção, adotando leis que visam resgatar os resíduos na origem, procurando a reutilização ou reciclagem. Assim sendo, será necessário buscar parcerias, principalmente com empresas do polo ceramista nas proximidades.

É buscando respostas para as questões que definem os objetivos desse trabalho, pois procura-se evidenciar a importância de minimizar e/ou mitigar os impactos ambientais gerados por resíduos sólidos, em especial o lodo, nos processos de tratamento de efluentes industriais, visto que o descarte incorreto desse resíduo ameaça igarapés, rios e lençóis freáticos, e até mesmo o aterro sanitário municipal. A presente pesquisa estará embasada em uma série de normas e legislação, tendo a Lei Nº 12.305/2010 como marco principal, que por sua vez, trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O presente trabalho tem por objetivo aplicar por meio de um diagnóstico inicial a possibilidade de elevar a eficiência de uma estação de tratamento de efluente, melhorando sua estrutura, agregando novas técnicas de tratamento melhorando a qualidade do efluente final conforme as resoluções vigentes, bem como por consequência redução de custo inerente ao descarte do lodo gerado.

2. As indústrias de tintas: desafios, impactos ambientais e legislação

Atualmente uma das maiores preocupações das empresas e indústrias de tinta são os impactos que seus processos podem gerar no meio ambiente. O crescimento industrial gera problemas ambientais decorrentes da eliminação dos rejeitos tóxicos, provenientes de subprodutos gerados de um processo (Goldemberg e Lucon, 2007; Jimenez, 2011). Para alguns autores (Farias e Fávoro, 2011; Lenardão *et al.*, 2003) um dos assuntos mais importantes em controle de poluição é a eliminação de produtos tóxicos, que tem levado cientistas e pesquisadores a buscar novas técnicas e ferramentas afim de minimizar ou mitigar a toxicidade dos efluentes sólidos, líquidos e gasosos formados, sempre observando o que determinam as regulamentações e legislações voltadas à proteção ambiental.

O processo de fabricação e impressão de embalagens de papelão ondulado tem sido bastante questionado quanto aos cuidados referentes aos resíduos gerados, que podem ser produzidos das mais diversas formas, tanto dos insumos utilizados, matéria-prima, embalagens dos produtos químicos utilizados, e em destaque o bem natural mais valioso a água (GALDIANO, 2006). Em geral, os mais preocupantes são as emissões de efluentes líquidos e os resíduos sólidos (lodo de tinta).

A maior fonte de geração de efluentes líquidos em uma indústria de impressão de embalagens está na lavagem das máquinas de impressão, ou seja, em todo o setup de máquina, há necessidade de ser realizar uma lavagem de todo o sistema de impressão da máquina, e também no clichê (chapa gravada de fotopolímero, usadas para impressão de textos e imagens) (Gallon *et al.*, 2008; Schenini, 1999; Weber *et al.*, 2010B).

As legislações brasileiras (Conama Brasil, 2005; Constituição Brasil, 2011) são uma importante ferramenta para o controle a poluição dos corpos receptores por lançamento de efluentes líquidos, tanto para os órgãos ambientais quanto para o poluidor privado e públicos. As tendências mundiais têm apresentado restrições de padrões bem rígidas, diante disto, os órgãos ambientais tem que lidar com legislações que se baseiam em parâmetros internacionais e as pressões por outro lado dos que poluem para se ter uma legislação mais flexível, (Acsehrad *et al.*, 2014).

Independente da característica da matéria-prima, da água utilizada e do processo, os poluentes presentes em um efluente estão diretamente associados a perdas no processo pelo consumo de água (Hespanhol, 2008). Como resultado tem-se: produtividade baixa, refugo alto, grande consumo de tintas, elevada geração de efluentes industriais, baixa rentabilidade e consequentemente falta de condições de investimentos no setor.

Os custos com tratamento de efluentes líquidos têm sido considerados como “um investimento sem retorno” pelas indústrias, muito embora se saiba que isso trará ao meio ambiente um melhor equilíbrio e uma considerável melhora de vida aos seres aquáticos, onde esses despejos são lançados (Freire *et al.*, 2000; Mazzer e Cavalcanti, 2004).

Para se entender um efluente é preciso caracterizá-lo, tanto física, química, quanto biologicamente, para compreender seus pontos mais críticos e a quantidade de carga poluidora presente, para então se aplicar o processo de tratamento mais apropriado.

De acordo com a legislação do Ministério do Meio Ambiente, Lei nº 12.305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Neto e Moreira, 2010) o descarte ou armazenamento de resíduos perigosos é um problema sério para a saúde pública e para o meio ambiente. A norma prevê a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. A mesma também contém ferramentas e instrumentos importantes que permitem o avanço necessário ao país no enfrentamento dos problemas sociais, econômicos e ambientais, em virtude do manejo inapropriado dos resíduos sólidos (Maiello *et al.*, 2018).

Além dos riscos eminentes de intoxicação de quem manuseia e de contaminação do ambiente por conta das tintas do processo de produção das embalagens de papelão ondulado, há grande necessidade de se considerar a perspectiva futura/presente da escassez de água. A constante redução dos recursos hídricos bem como volumes disponíveis para cada habitante e a degradação de sua qualidade são aspectos que configuram esse quadro de escassez: quantidade e qualidade.

A indústria de embalagens de papelão ondulado, por exemplo, ao utilizar tintas aos processos de tratamento convencionais, representa alta capacidade poluidora. Após passarem pelo tratamento de efluentes ineficiente quanto a remoção dos poluentes os corantes azoicos, constituintes dessas tintas, chegam aos corpos receptores e, quando incorporados às águas de abastecimento, oferecem risco de saúde à população (Weber *et al.*, 2010A).

A Legislação Ambiental estabelece que os despejos industriais devem ser tratados para que as suas características físico-químicas dos efluentes estejam de conforme os padrões estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) no. 357, de 2006. O presente trabalho tem por objetivo aplicar por meio de um diagnóstico inicial a possibilidade de elevar a eficiência de uma estação de tratamento de efluente, melhorando sua estrutura, agregando novas técnicas de tratamento melhorando a qualidade do efluente final conforme as resoluções vigentes, bem como por consequência redução de custo inerente ao descarte do lodo gerado.

3. Metodologia

A Empresa em estudo está localizada no Polo Industrial de Manaus-AM, pertence ao segmento de embalagens de papelão ondulado, que por sua vez realiza impressão com tintas à base de água fabricadas na própria unidade. Dessas atividades (fabricação de tinta, impressão das embalagens, lavagens de maquinários), resultam os efluentes líquidos que são escoados até a estação de tratamento para remoção dos poluentes e atendimento as legislações ambientais em vigência.

3.1 Metodologia Experimental

A metodologia utilizada no presente estudo de caso, classifica-se como exploratória e descritiva. Por meio do estudo de caso pode-se ter subsídios para as tomadas de decisão em relação a algum fenômeno em estudo. Observa-se que para se implementar um estudo de caso, pode-se fazer emprego de técnicas de levantamento de dados qualitativos e quantitativos (Pereira A. S. et al., 2018).

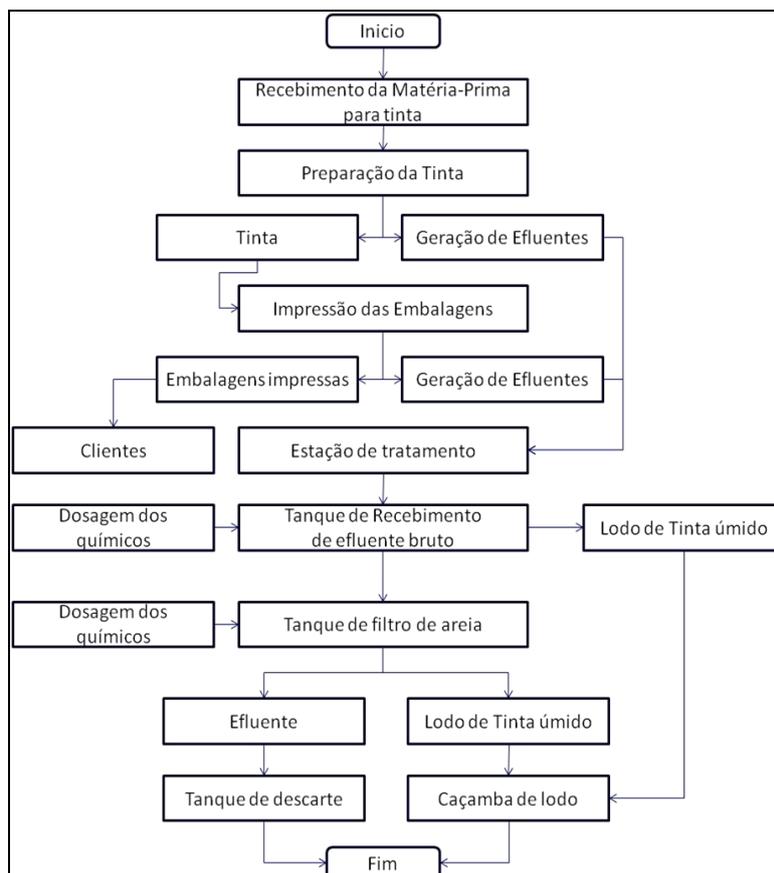
3.1.1 Diagnóstico das deficiências estruturais e ineficiências das etapas de tratamento

Nesta etapa buscou-se realizar o levantamento das deficiências estruturais, isso foi realizado por meio de visita as instalações se fez o levantamento completo das informações operacionais, de variações de vazão de entrada em relação a

capacidade de tratamento da planta, acessibilidade, produtos químicos utilizados, laudos e resíduos gerados e fluxo de processos de tratamento.

A Figura 1 descreve o fluxo do processo fabril visitado, e em destaque as fontes geradoras de efluente bem como todas as etapas do processo convencional verificadas no diagnóstico inicial.

Figura 1 - Fluxograma do processo fabril.



Fonte: Autores (2021).

Para a adequação da estação de tratamento, foi realizado um estudo descritivo de todo o processo de fabricação de embalagens desde a fabricação das tintas à base de água; a sua utilização na impressão de embalagens; os efluentes líquidos gerados; as novas etapas e maquinários para o tratamento adequado do efluente; até a avaliação do processo buscando um aumento na qualidade do efluente tratado.

Os ensaios analíticos das amostras coletadas para monitorar os parâmetros do efluente tratado na estação de tratamento, foram enviados a laboratórios terceirizados. Os parâmetros físicos e químicos analisados foram: pH, Cloretos, DQO e DBO, Chumbo Total, Cor, Cadmio Total, Níquel, Ferro Dissolvido, Sulfeto, Sulfato, Sólidos sedimentáveis, Fósforo, Zinco total, Temperatura e Turbidez.

A metodologia adotada para análises das amostras coletadas encontra-se descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Association e Federation, 1915), de acordo com as referências para as especificações de lançamento de efluentes.

Por meio das análises realizadas, constatou-se problemas quanto ao dimensionamento, capacidade de tratamento, elevada geração de lodo, bem como a necessidade de agregação de novos tanques e técnicas que visam o aumento na eficiência

da ETEI, sobre tudo aos parâmetros de DBO e DQO, devido a estes o não atendimento a legislação para descarte do efluente tratado.

3.1.2 Implementação e implantação de projeto de intervenção

Após diagnosticar as deficiências estruturais da estação bem como as ineficiências das etapas de tratamento, foram aplicadas técnicas e ações corretivas.

3.1.2.1 Revisão dos procedimentos de operação

Realizou-se a revisão no campo específico dos textos procedimentais (guias operacionais e manuais de equipamentos) referente a ETEI, com intuito de permitir uma operação eficaz e livre de erros. Esta se deu juntamente com a equipe de operação da ETEI.

3.1.2.2 Concentração e dosagem ótima dos agentes químicos

Com o intuito de determinar a dosagem ótima dos agentes químicos que proporcionarão o aumento na eficiência com um menor custo econômico da ETEI diagnosticada, fez-se em laboratório terceirizado, a determinação da concentração e dosagem de produtos químicos ideal por meio de ensaio de jarros. Bem como, instalação de bombas dosadoras para automatizar esta atividade, pois, nesse ambiente, qualquer descuido pode acarretar a perda de matéria-prima ou, dependendo da mistura de químicos, podem causar riscos aos colaboradores.

3.1.2.3 Aquisição de filtração por filtro prensa

Com objetivo de promover a redução dos custos com a destinação do lodo a partir da diminuição de umidade realizou-se a aquisição de filtro prensa de 30 placas 400mm x 400mm. O equipamento faz esse processo pela passagem forçada de soluções com resíduos e por elementos filtrantes permeáveis.

3.1.2.4 Modificações estruturais

Para garantir a capacidade de tratamento da ETEI, conforme a necessidade da empresa, fez-se ampliação do tanque de recebimento de efluente bruto. E, afim de garantir a seguridade dos operários e pleno funcionamento da ETEI, também realizou-se a instalação de equipamentos de segurança como escadas de acesso, plataformas e guarda-corpo, este último em especial instalado por se tratar de uma medida de proteção que evita quedas de grandes alturas.

4. Resultados e Discussão

4.1 Diagnóstico das Deficiências Estruturais e Ineficiências das Etapas de Tratamento

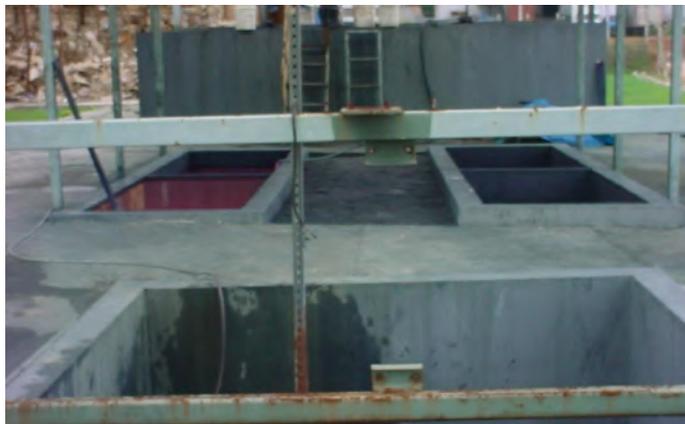
A estação de tratamento de efluentes dos processos de impressão e fabricação de tintas, na área de estudo, era basicamente constituída por 4 tanques, sendo um tanque de recebimento do efluente bruto, dois tanques de areia para filtração e um tanque destinado ao descarte.

Inicialmente foi observado que a estação de tratamento de efluente estudada além de uma dificuldade operacional por ser em sua totalidade manual, não estava dimensionada para receber o volume atual gerado no processo produtivo, ou seja, processo de fabricação das tintas e das impressões das embalagens.

Devido à simplicidade da estação de tratamento, a difícil operação e problemas quanto ao dimensionamento, o efluente de descarte não atendia as resoluções para lançamento de efluentes.

A Figura 2 evidencia a situação a qual se encontrava a ETEI. Os processos totalmente manuais, a eficiência de tratamento era baixa além de não tratar o efluente industrial adequadamente.

Figura 2 - Visão geral da ETEI, diagnóstico inicial.



Fonte: Autores (2021).

O tanque de recebimento de efluente bruto gerado no processo produtivo tinha em média de 15m³/dia, e a estação foi dimensionada para receber no máximo 10m³/dia, logo, havia uma sobrecarga tornando o processo de tratamento mais lento.

Foi evidenciado que não havia bombas para transportar o efluente de um processo a outro, como alternativa os gestores da indústria solicitavam auxílio de caminhões pipas de empresas de serviço de tratamento de resíduos perigosos, para drenar os tanques, evitando possíveis transbordamentos.

Observou-se que o processo adotado para a filtração do efluente na estação de tratamento (Figura 3) era dotado de um tanque com capacidade de 3m³, sendo que, para se filtrar, o tanque recebia uma camada de areia com pedras de brita, após a formação das camadas o efluente era lançado nos tanques para a filtração do mesmo. Os resultados já eram esperados, o processo tornava-se lento tornando a filtração bastante ineficiente para este caso.

Figura 3 - Tanque de filtração de efluente.



Fonte: Autores (2021).

Notou-se que na estação de tratamento havia vários problemas estruturais, principalmente ergonômicos, onde o deslocamento do operador tornava-se arriscado e de difícil acesso, a Figura 4, ilustra uma das escadas de acesso, em específico, ao tanque de recebimento de efluente bruto.

Figura 4 - Escadas de acesso deterioradas.



Fonte: Autores (2021).

Quanto ao resíduo gerado na estação de tratamento de efluente (lodo de tinta), seu armazenamento era realizado em caçambas impermeabilizadas com lonas que tentavam evitar possíveis vazamentos e contaminação do solo (Figura 5).

Figura 5 - Lodo de tinta gerado no sistema inicial.



Fonte: Autores (2021).

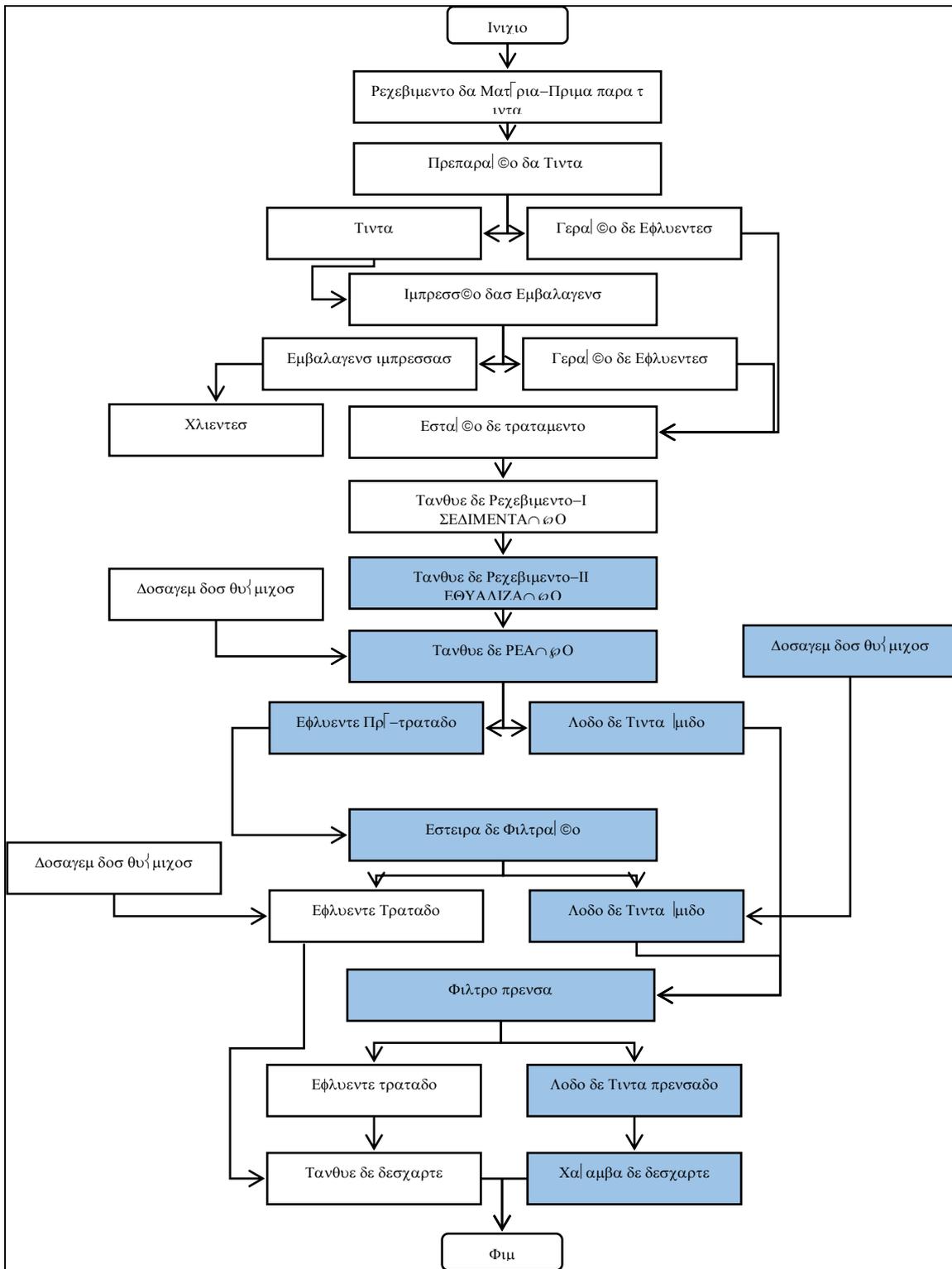
Se tratando de custos operacionais, o lodo gerado em estações de tratamento de efluentes industriais é um fator econômico importante no contexto de tratamento de rejeitos líquidos (JIMENEZ, 2011).

Durante o diagnóstico inicial da estação de tratamento, a qualidade do efluente tratado, pronto para descarte, foi o que mais chamou a atenção devido à elevada intensidade na coloração e grande presença de particulados.

Amostras foram coletadas no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2019, com frequência trimestral para avaliar os parâmetros físicos e químicos estabelecidos na licença de operação. Os pontos amostrais foram: Na entrada do tanque de recebimento I (efluente bruto) e na saída do tanque de descarte (efluente final ou tratado).

A Figura 6 descreve o fluxo do processo fabril, as fontes geradoras de efluente dentro de uma empresa de impressão de embalagens, destacando os processos propostos em projeto para nova realidade ao tratamento dos efluentes líquidos gerados pela indústria.

Figura 6 - Fluxograma do processo da fabricação de tinta com destaque aos processos incorporados no tratamento.



Fonte: Autores (2021).

4.2 Resultados das Melhorias das Propostas de Adequação da ETE Diagnosticada

Como resultado da implantação e implementação do projeto teve-se a adequação estrutural do tanque de recebimento de efluente bruto e a instalação de escada e guarda-corpo para a segurança dos operadores (Figura 7).

Figura 7 - Tanque de efluente bruto, reformado e instalado com os itens de segurança.



Fonte: Autores (2021).

No tanque de recebimento de efluente bruto, foram inseridas duas técnicas básicas para melhorar o processo de tratamento: sedimentação e equalização. O efluente escoar por tubulações aéreas até os tanques de recebimento de efluente bruto I e II, onde cada tanque possui capacidade de 31,5 m³ cada.

O tanque de recebimento I nesta fase recebe o efluente bruto direto da produção, a principal característica aparente do efluente é a presença de muito particulado com diferentes tipos de cores (devido à utilização de diversos tipos de tinta no processo de impressão).

Para reduzir a quantidade de particulados no efluente bruto, o tanque de recebimento I, passou a ser usado para sedimentação dos particulados, ou seja, todo o efluente bruto escoado para a estação de tratamento chega ao tanque de recebimento I e por gravidade os sólidos se depositam no fundo do tanque para em seguida o efluente, agora com uma menor carga de partículas, prosseguir para o tanque de recebimento II.

A cada 90 dias é removido todo o sólido sedimentado do fundo do tanque de recebimento I para filtragem e posterior incineração.

No tanque de recebimento II, para evitar variações no processo de tratamento, mantendo o efluente o mais homogêneo possível, foi instalado no fundo do tanque tubos em PVC (policloreto de vinila) com furos de 1 mm, com o objetivo de realizar flotação por injeção de ar, e nesta fase passou a ser realizado a correção do pH, antes deste efluente ser bombeado para próxima etapa, o tanque de reação.

O reator recebe o efluente e quebra a emulsão do solvente/pigmento. Neste tanque o efluente é agitado e recebe uma dosagem de polímero floculante e uma quantidade (determinada em teste de jarros) de hipoclorito de sódio para auxílio no processo de clareamento do efluente.

Nota-se que a partir da mudança de equipamento, após dimensionamento das instalações pra o atendimento da geração de efluentes, como a substituição do reator de tratamento de efluente que operava com a taxa de 10 m³/dia para 4 m³/h, foi possível ampliar a capacidade de tratamento em 10 vezes a antiga instalação (Figura 8).

Figura 8 - Reator instalado.



Fonte: Autores (2021).

No tanque de reação o processo de floculação além de mais rápido notou-se que a quantidade de materiais particulados retidos foi superior ao tratamento convencional. O lodo de tinta também apresentou uma elevação na consistência de sólidos, bem diferente do lodo obtido no tratamento anterior utilizado, onde havia muita água incorporada.

O lodo de tinta floculado no reator era transferido para esteira de filtração mecânica. Somente com a filtração por esteira mecânica (técnica anterior de tratamento) o lodo apresentava em média 71% de umidade. Com aquisição do filtro prensa (Figura 9), a umidade do lodo foi reduzida para faixa de 9,2% à 10%.

Figura 9 - Processo de remoção de umidade do lodo.

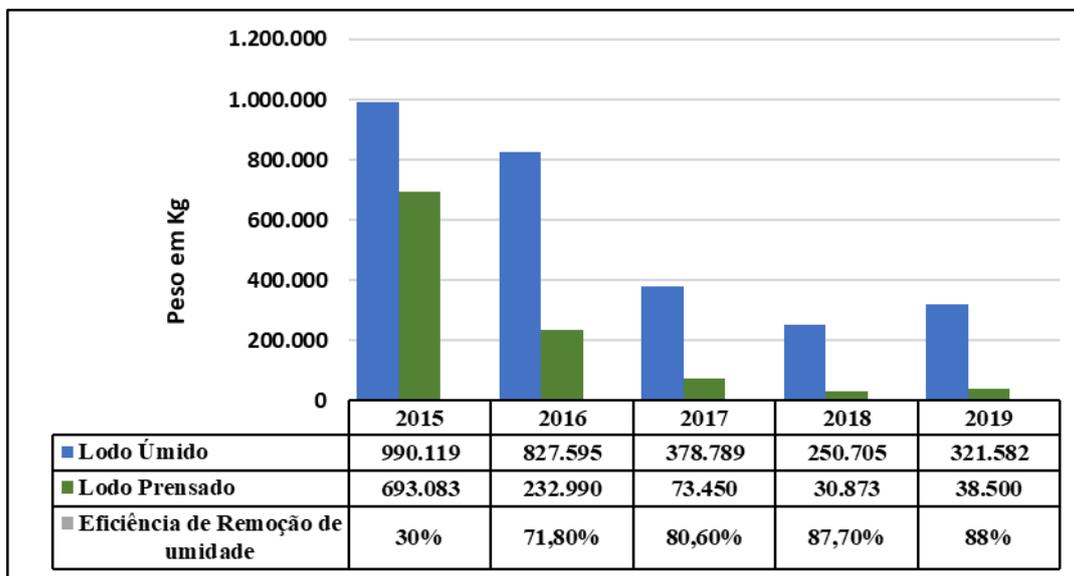


Fonte: Autores (2021).

Após o processo de prensagem, o lodo de tinta totalizou cerca de 375,8 toneladas, obtendo uma eficiência de redução em massa total de 84,2%, ou seja, o processo extraiu do lodo de tinta 2.393 toneladas de água incorporada.

Na Figura 10 é observado que do total de lodo produzido no tratamento de dezembro de 2015 a dezembro de 2019 (período de implantação do novo processo de tratamento) foi de 2.768,8 toneladas, ou seja, 2.393 toneladas de água removida do lodo de tinta.

Figura 10 - Eficiência de remoção de umidade em massa de lodo.

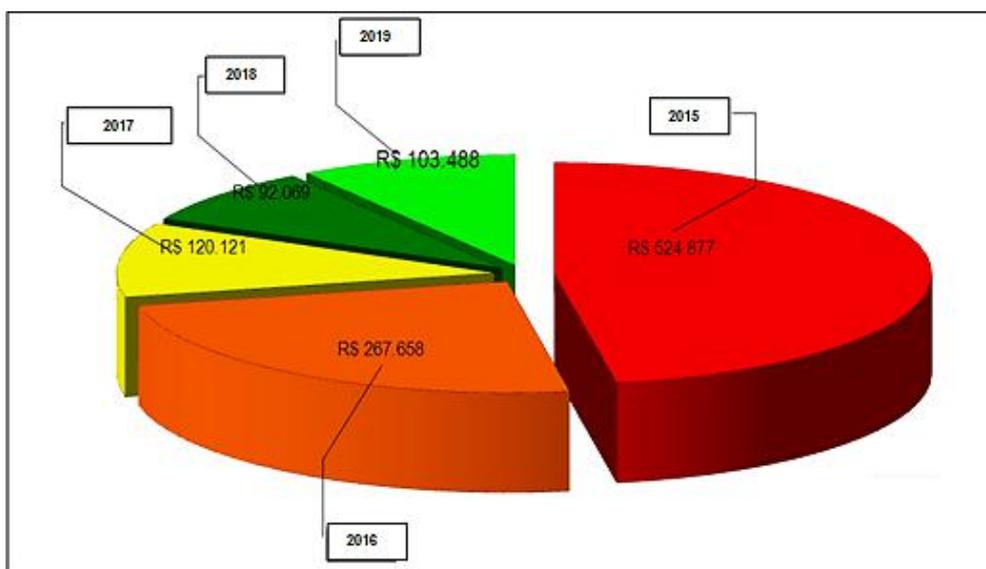


Fonte: Autores (2021).

Ao se avaliar os resultados de percentual de umidade inicial e umidade final, a estação de tratamento obteve em seu processo de prensagem uma eficiência média de 84,3% de sua umidade removida para o mesmo período.

Em relação ao custo com esse processo, na Figura 11, observam-se os custos gerados com a operação e destinação do lodo de tinta no ano de 2015, ou seja, antes das modificações propostas e os anos de 2016 a 2019, após implantação do projeto.

Figura 11 - Custo anual com a operação e destinação do lodo de tinta.



Fonte: Autores (2021).

Nota-se que os custos com descarte do lodo em um ano de operação da estação de tratamento de efluente (2015) equivale a quase os 4 anos subsequentes de custos com a implantação, operação e destinação com o novo processo de tratamento de efluentes (2016 a 2019). Os custos deste estudo não levam em consideração as aquisições de equipamentos e obras realizadas. Aqui encontram-se apenas os custos inerentes a destinação do lodo úmido.

Já os produtos químicos utilizados no tratamento de efluentes foram armazenados em tanques com circuito construído com tubos de reposição e instalado bombas dosadoras para a manipulação dos produtos em linha (Figura 12).

Figura 12 - Tanques de armazenamento dos produtos químicos.



Fonte: Autores (2021).

Por fim o efluente tratado é escoado para o tanque de descarte final (Figura 13).

Figura 13- Tanques de descarte final.



Fonte: Autores (2021).

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das amostras analisadas em laboratório dos efluentes coletadas em cada ano, agrupados em médias anuais.

Tabela 1 - Resultados das amostras coletadas agrupados em médias anuais.

Parâmetros Analisados	Parâmetros para Lançamento de Efluente CONFORME CONAMA 357/2005 e 430/2011	ENTRADA	MÉDIA ANUAL SAÍDA			
		Caracterização do efluente Bruto	2016	2017	2018	2019
PH	5,0 a 9,0	6,7	6,5	6,6	7,2	6,3
Cloreto	Sem referência (mg/L)	7,3	3,6	2,4	2,6	2,5
DQO	Sem referência (mg/L O ₂)	2619,6	160,6	151,8	137	87,2
Chumbo Total	0,5 mg/L	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
Cor verdadeira	Sem referência (Pt/L)	48,6	11,4	9,0	9	9,2
Cádmio	0,2 mg/L	0,1	0,01	0,02	0,01	0,02
Níquel	2,0 mg/L	1,1	0,2	0,4	0,0	0,0
Ferro Dissolvido	15,0 mg/L	3,5	0,4	0,2	0,2	0,2
Sulfeto	1,0 mg/L	1,6	0,0	0,0	0,0	0,1
Sulfato	Sem referência (mg/L)	92,4	0,0	0,0	34,3	25,2
Sólidos sedimentáveis	1 mL/L	79,5	0,6	0,3	0,9	0,3
Fósforo	Sem referência (mg/L)	1,9	0,0	0,2	0,2	0,0
Zinco	5,0 mg/L	1,8	0,3	0,0	0,2	0,3
Turbidez	Sem referência (UNT)	658,1	16,6	14,4	15,3	15,2
DBO	Remoção Mínima de 60%	1674,4	260,6	66,2	309,0	69,5
Temperatura	Inferior a 40°C	26,7	24,7	28,5	25,7	25,9

Fonte: Autores (2021).

Os valores das médias de temperatura e pH apresentado na Tabela 1, demonstram que estes parâmetros não tiveram alterações. As amostras analisadas apresentam um pH entre 6 e 7 e a temperatura entre 24,7°C a 28,5°C, sendo que o efluente de entrada apresenta sua temperatura com 26,7°C e pH 6,7. Todas as amostras analisadas apresentaram a temperatura e o pH em conformidade com os valores estabelecidos pelo CONAMA 357/05 (Conama Brasil, 2005) e 430/11 (Constituição Brasil, 2011).

Os parâmetros físicos: cor verdadeira, sólidos sedimentáveis e turbidez apresentaram uma redução significativa, isso se deve ao processo de floculação e a quebra da emulsificação do efluente de tinta no tanque de reação da estação de tratamento e do processo de filtração retendo todos os possíveis particulados presentes. Parâmetros como sólidos sedimentáveis, apresentam após o processo de tratamento uma remoção de 99% a 100%; isso contribui para os resultados de turbidez, com a ausência de materiais em suspensão e não há interferência da passagem da luz no efluente tratado - a redução foi de 97% a 99%.

Os metais de transição como: Chumbo total, Níquel, Cádmio, Ferro e o Zinco, apresentam resultados de concentrações a baixo do exigido pelas Resoluções Conama 357 e 430. Dentre os resultados apresentados na Tabela 1, o chumbo total obteve uma redução mínima de 34% e máxima de 98%, Cadmo 78% a 92%, o Níquel 66% a 99%, o Ferro Dissolvido 89% a 95% e o Zinco 85% a 98%. Isso se deve ao processo de sedimentação e da quebra da emulsificação durante o processo de floculação no reator, os contaminantes são encapsulados, impedindo a solubilização desses contaminantes por lixiviação (Hassemer e Sens, 2002).

Na Tabela 1 também nota-se uma concentração de 1,9 mg/L de fósforo no efluente bruto, apesar das Resoluções (Conama Brasil, 2005; Constituição Brasil, 2011) não determinarem limites para lançamento, o processo de tratamento obteve uma eficiência de 94%.

Os resultados de cloretos apresentados, durante os anos 2016, 2017, 2018 e 2019 mostram uma redução na concentração média em massa de 2,8 mg/L. A presença dessa carga poluidora deve-se as inúmeras lavagens no *setup* de máquinas e a perdas na produção de corantes fortes e reativo. As Resoluções (Conama Brasil, 2005; Constituição Brasil, 2011) não especificam limites para cloretos.

Houve uma redução de 95% a 99% para Sulfetos e para o Sulfato uma redução mínima 63% e máxima de até 100%. Em relação aos resultados obtidos nos anos de 2018 e 2019 para Sulfato, acredita-se que tiveram interferência de efluentes gerados de tintas à base de enxofre que passaram a ser utilizadas no processo fabril.

Para os parâmetros de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e o DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), utilizados para observar a biodegradabilidade de um efluente (Giordano, 2004), há uma acentuada entrada de carga poluidora no efluente bruto da estação de tratamento, isso se deve aos inúmeros *setups* de máquinas (processo que acontece na troca de um pedido para outro, utilizando o mesmo equipamento (Fabro, 2003) onde acontece à lavagem das calhas de tinta e rolos. Entretanto, o processo de redução da carga poluidora é decorrente de todas as etapas preliminares e primárias (sedimentação, coagulação e floculação) para remover os sólidos contaminantes.

A estação de tratamento obteve em média 95% de taxa na redução de DQO com variações entre 94% a 97% e para a DBO redução de 93% com variações entre 84% a 96%, o que corrobora no aumento da eficiência de remoção de particulados do efluente da ETEI estudada.

5. Conclusão

Com o processo de tratamento otimizado a ETEI em estudo se mostrou eficiente na remoção de todos os poluentes analisados no efluente industrial proveniente de cabines de pintura da indústria de fabricação de papel ondulado.

Após dimensionamento das instalações e com a substituição do retor de tratamento de efluente foi possível ampliar a capacidade de tratamento em 10 vezes a antiga instalação, passando a ter uma vazão de entrada de 4 m³/h, suprimindo com amplitude as necessidades sazonais de produção fabril da empresa.

As análises das características físico-químicas do efluente bruto e tratado demonstram que além da elevação no desempenho das taxas de remoção, todos os parâmetros analisados atenderam a resolução Conama 357/05 art. 34 e a Conama 430/11.

Em especial os parâmetros de DQO e DBO respectivamente obtiveram em média, 95% de taxa na redução com variações entre 94% a 97% e 93% com variações entre 84% a 96%, o que corrobora na elevação da eficiência de remoção de particulados do efluente da ETEI estudada.

Após aquisição do filtro prensa a umidade final do lodo gerado pela ETEI passou de 71% para 10% em média, o que por sua vez, os custos com descarte do lodo em um ano de operação da estação de tratamento de efluente convencional (antes do projeto) equivaleu a quase os custos de operação e destinação do lodo nos 4 anos subsequentes, ou seja, após implantação do projeto.

Por conta dos benefícios adquiridos com a elevação na qualidade do efluente tratado, redução nos custos operacionais e destinação do lodo a diretoria da empresa estudada demonstrou interesse em manter um comprometimento sustentável para com seus resíduos e processos.

Visando contribuir para as pesquisas futuras que permitam a continuação de processos de tratamentos mais eficientes de baixo custo pode-se sugerir: realizar um estudo piloto em indústrias do mesmo segmento afim de se verificar a possibilidade da utilização das intervenções aplicadas, analisando os parâmetros estudados quanto à eficiência, desempenho e atendimento a legislação vigente; e, identificar a viabilidade de redução do efluente na fonte geradora e prática de reuso da água tratada para fins não potáveis.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Pará – UFPA e ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM pela contribuição para com o desenvolvimento pessoal e intelectual daqueles que vislumbram interesse em ampliar seus conhecimentos na pesquisa e obterem uma maior qualificação profissional.

Referências

- Acsegrad, H. *et al.* (2014). *Conflitos ambientais no Brasil*. Relume Dumará.
- American Public Health Association *et al.* (1912). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association.
- Anghinetti, I. C. B. (2012). *Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias*. Monografia (Monografia ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 65 f. <http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/90.pdf>.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2004). *ABNT. NORMA, NBR. 10004/04: Resíduos Sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro (Brasil).
- Brasil, C. (2005). *Resolução. 357, de 17 de março de 2005*. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 357.
- Brasil, C (2011). *Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011*. . Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 430.
- Castanho, S. C. R. (2006) *Gerenciamento dos fluxos reversos: Estudo de caso de uma indústria de embalagens de papelão ondulado*.
- Fabro, E. *et al.* *Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo*. 2003.
- Farias, L. A.; Fávaro, D. IT. (2011). *Vinte anos de química verde: conquistas e desafios*. Química Nova, v. 34, p. 1089-1093.
- Freire, R. S. *et al.* (2000). *Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas*. Química nova, v. 23, n. 4, p. 504-511.
- Galdiano, G. de P. (2006). *Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Giordano, G. *et al.* (2004). *Tratamento e controle de efluentes industriais*. Revista ABES, v. 4, n. 76, p. 1-84.
- Hammes, V. S. (2004). *Percepção do impacto ambiental*. São Paulo: Globo, v. 4.
- Hassemer, M. E. N.; Sens, M. L. (2002) *Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação*. Engenharia sanitária e ambiental, v. 7, n. 1, p. 30-36.
- Hespanhol, I. (2008). *Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos*. Estudos avançados, v. 22, p. 131-158.
- Jimenez, I. J. T. (2011). *Utilização do lodo de estação de tratamento de efluentes da indústria de injeção plástica como matéria-prima para indústria cerâmica*. Dissertação de Mestrado, PPGEE, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA.
- Lenardão, E. J. *et al.* (2003). *Green chemistry: the 12 principles of green chemistry and it insertion in the teach and research activities*. Química Nova, v. 26, n. 1, p. 123-129.
- Maiello, A.; Britto, A. L. N. D. P.; Valle, T. F. (2018). *Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Revista de Administração Pública, 52(1), 24-51.
- Mazzer, C.; Cavalcanti, O. A. (2004). *Introdução à gestão ambiental de resíduos*. Infarma Ciênc Farmac, v. 16, p. 11-12.
- Neto, P. N.; Moreira, T. A. (2010). *Política nacional de resíduos sólidos-reflexões a cerca do novo marco regulatório nacional*. Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), n. 15, p. 10-19.
- Nicoletti, L. (2002). *O lixo, o turismo e os desafios para a gestão integrada de resíduos sólidos em uma unidade de conservação: estudo de caso em Pirenópolis, APA Pireneus de Goiás*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Pereira A. S. *et al.* (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free e-book]. Santa Maria/RS. Ed. UAB/NTE/UFSM.

Rocha, J. C.; Rosa, A. H.; Cardoso, A. A. (2009). Introdução à química ambiental. Artmed Editora.

Rosa, A. H.; Fraceto, L. F.; Moschini-Carlos, V. (2009). *Meio ambiente e sustentabilidade*. Artmed Editora.

Schenini, P. C. *et al.* (1999). *Avaliação dos padrões de competitividade à luz do desenvolvimento sustentável: O caso da Indústria Trombini Papel e Embalagens S/A em Santa Catarina-Brasil*.

Souza, A. G. R. de. (2015). Panorama do setor de tintas no Brasil: condições e perspectivas no segmento de tintas imobiliárias.

Weber, C. C.; Cybis, L. F.; Beal, L. L. (2010). *Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, p. 291-300.