



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Francisco Beltrão
Curso de Engenharia Ambiental



PAULA MARUTHIA BAVARESCO

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UMA
LAVANDERIA INDUSTRIAL UTILIZANDO REATOR FOTOQUÍMICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2018

PAULA MARUTHIA BAVARESCO

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UMA
LAVANDERIA INDUSTRIAL UTILIZANDO REATOR FOTOQUÍMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Francisco Beltrão.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ticiane Sauer Pokrywiecki

FRANCISCO BELTRÃO
2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Francisco Beltrão
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

**Avaliação de um sistema de tratamento do efluente de uma
lavanderia industrial utilizando reator fotoquímico**

por

Paula Maruthia Bavaresco

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 14:30 horas, do dia 05 de Dezembro de 2018, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Avaliadora:

Ticiane Sauer Pokrywiecki
(Presidente da Banca)

Juan Carlos Pokrywiecki
(Membro da Banca)

Ana Paula de Oliveira
(Membro da Banca)

Denise Andréia Szymczak
(Professora responsável pelo TCC e Coordenadora do Curso de Engenharia Ambiental)

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental.

RESUMO

BAVARESCO, P. M. **Avaliação de um sistema de tratamento do efluente de uma lavanderia industrial utilizando reator fotoquímico**. 2018. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2018.

A água, além de ser essencial à vida, é um solvente universal utilizado em inúmeros processos industriais. Seu elevado consumo nas indústrias gera discussões e preocupações ambientais devido ao incorreto uso e descarte que ocasionam impactos ambientais e contaminações dos recursos hídricos. As empresas prestadoras de serviços de lavagens além de serem um importante setor da indústria, utilizam grande quantidade de água em seus processos, ocasionando assim um significativo descarte de efluentes. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo estudar sistemas alternativos de tratamento de efluentes de lavanderias, sendo estes os processos oxidativos avançados, contribuindo assim com uma melhor gestão dos recursos hídricos. O efluente utilizado para o estudo é proveniente de uma lavanderia que faz a lavagem e desinfecção de uniformes que são utilizados em uma empresa que processa alimentos e está localizada na cidade de Francisco Beltrão – PR. O efluente foi caracterizado através de análises de demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio em cinco dias (DBO₅), cor, pH, sólidos totais, condutividade e surfactantes. Após ser coletado, o efluente foi submetido às reações em um reator fotoquímico de dois litros, com uma lâmpada ultravioleta (UV) de 8 watts que esteve inserida no interior de um tubo de quartzo. Para avaliar a eficiência do tratamento, foram realizadas análises de DBO₅ e DQO antes e após o processo utilizado para quantificar as demandas químicas e bioquímicas de oxigênio do efluente. Os processos analisados utilizando o reator fotoquímico foram fotólise direta, H₂O₂/UV, TiO₂/UV e TiO₂/H₂O₂/UV e foram utilizadas concentrações de 1,8 g/L de H₂O₂ e 1,0 g/L de TiO₂ nas reações. Para os ensaios realizados somente com a luz UV (fotólise) foi verificada uma remoção de DBO₅ de 17,2% e 18,8% para DQO. Já no teste realizado com H₂O₂/UV, obteve uma menor remoção que corresponde a 6,3% para DBO₅ e 11,5% para DQO. Por outro lado, os testes realizados contendo somente o TiO₂ com luz UV e TiO₂ juntamente com H₂O₂ e luz UV não apresentaram remoção tanto de DBO₅ quanto de DQO, inclusive houve aumento destes parâmetros possivelmente devido à formação de compostos intermediários durante a reação.

Palavras-chave: Efluente de lavagem. Tratamentos alternativos. Luz ultravioleta.

ABSTRACT

BAVARESCO, P. M. **Evaluation of an effluent treatment system of an industrial laundry using photochemical reactor**. 2018. 44 p. Course Completion Work (Bachelor of Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Francisco Beltrão, 2018.

Water, besides being essential to life, is a universal solvent used in numerous industrial processes. Its high consumption in industries generates environmental discussions and concerns due to the incorrect use and disposal that cause environmental impacts and contamination of water resources. The companies that provide laundering services, besides being an important industry in the industry, use a lot of water in their processes, thus causing a significant waste disposal. In this sense, this work has as objective to study alternative systems of treatment of laundry effluents, these being the advanced oxidative processes, thus contributing to a better management of water resources. The effluent used for the study comes from a laundry that does the washing and disinfection of uniforms that are used in a company that processes food and is located in the city of Francisco Beltrão - PR. The effluent was characterized by chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand in five days (BOD₅), color, pH, total solids, conductivity and surfactants. After being collected, the effluent was submitted to reactions in a two liter photochemical reactor, with an 8 watt ultraviolet (UV) lamp inserted inside a quartz tube. To evaluate the efficiency of the treatment, BOD₅ and COD analyzes were performed before and after the process used to quantify the chemical and biochemical oxygen demands of the effluent. The processes analyzed using the photochemical reactor were direct photolysis, H₂O₂ / UV, TiO₂ / UV and TiO₂ / H₂O₂ / UV and concentrations of 1.8 g / L H₂O₂ and 1.0 g / L TiO₂ were used in the reactions. For the tests performed only with UV light (photolysis) a BOD removal of 17.2% and 18.8% for COD was observed. In the test performed with H₂O₂ / UV, it obtained a lower removal corresponding to 6.3% for BOD₅ and 11.5% for COD. On the other hand, the tests carried out containing only TiO₂ with UV light and TiO₂ together with H₂O₂ and UV light did not show removal of both BOD₅ and COD, although there was an increase in these parameters possibly due to the formation of intermediates during the reaction.

Keywords: Washing effluent. Alternative treatments. UV light.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Padrões e limites para lançamento de efluentes.....	15
Tabela 2 – Parâmetros analisados na caracterização do efluente	24
Tabela 3 - Resultados de DBO ₅ e DQO dos diferentes tratamentos avaliados.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado da entrada e saída de líquidos no processo	13
Figura 2 - Área em que estão dispostas as lavadoras industriais da lavanderia	19
Figura 3 - Local de coleta do efluente da lavanderia	20
Figura 4 - Esquema do reator fotocatalítico	21
Figura 5 - Reator fotoquímico real	22

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	OBJETIVOS	9
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3.	REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1	Água.....	10
3.2	Efluentes Líquidos	11
3.3	Efluentes de lavanderia.....	12
3.4	Legislação aplicada.....	14
3.5	Tratamento dos efluentes.....	15
3.5.1	Processos Oxidativos Avançados (POAs)	16
3.5.1.1	Tratamento por fotólise	17
3.5.1.2	Tratamento por H ₂ O ₂ /UV.....	17
3.5.1.3	Tratamento por fotocatalise heterogênea.....	17
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1	Caracterização do efluente	19
4.2	Coleta das amostras	20
4.3	Reator Fotoquímico.....	21
4.4	Tratamento do efluente	21
4.5	Eficiência do tratamento.....	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Caracterização do efluente	24
5.2	Efetividade dos tratamentos.....	25
6.	CONCLUSÃO	28
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	29
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
	ANEXOS	37

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural primordial à vida de todos os seres vivos, pois além de atuar na dessedentação, está presente nas principais atividades humanas, como agricultura, processos industriais, geração de energia através de hidrelétricas, e abastecimento público.

O Brasil é um dos países que mais possui água em seu território, em torno de 12%, porém sua distribuição se dá de maneira desigual, tendo no Norte a maior disponibilidade de água e menor população, e no sul menor disponibilidade de água e grande população para sua utilização (ANA, 2009).

A tendência do ser humano de se alocar próximo de locais com maior disponibilidade hídrica juntamente com o crescimento populacional tem causado a poluição e contaminação de corpos hídricos pelo lançamento de seus efluentes (LEME, 2014). De acordo com Victorino (2007) a escassez de água e o consumo de água imprópria causa um terço das mortes em países subdesenvolvidos. Além disso, a qualidade da água pode favorecer a presença de vetores de doenças (TELLES e COSTA, 2007).

A partir da Revolução Industrial, aumentou-se o volume de produção e os produtos passaram a ter um custo menor, facilitando acesso a bens industrializados. A partir disso, os problemas ambientais se intensificaram através do uso excessivo dos recursos naturais e grande geração de resíduos por parte da indústria.

Conseqüentemente, com o aumento da geração de efluentes, o tratamento e o reuso de águas residuárias industriais se fez necessário, pois além de promover ações sustentáveis e atender requisitos legais, pode gerar benefícios econômicos às empresas. Telles e Costa (2007) citam como benefícios do tratamento a melhoria na imagem ambiental da empresa, potencialização da eficiência no uso dos recursos naturais, possibilidade de um sistema com descarte mínimo de efluentes e melhorias relacionadas à futuros processos de certificação ambiental.

Dentre os inúmeros ramos da indústria, estão as lavanderias, que geram grandes quantidades de efluentes diariamente. Segundo Menezes (2005) estes efluentes apresentam grandes cargas orgânicas, coloração derivadas do tingimento dos tecidos e quantidade considerável de sólidos suspensos. Tais características contribuem para a eutrofização de corpos hídricos, aumento de turbidez, redução de O₂ dissolvido, mortandade de peixes, entre outros.

O tratamento de efluentes através de processos oxidativos avançados diferem de outros processos de tratamentos, pois os compostos presentes são degradados, diferentemente de outros processos que apenas concentram ou transferem os poluentes (METCALF e EDDY, 2003).

A relevância do estudo em questão está ligada ao fato de que a maioria das lavanderias descartam seus efluentes diretamente na rede de esgoto doméstico, contribuindo com sobrecarga de matéria orgânica e demais substâncias, dificultando o tratamento na estação de esgoto.

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar um sistema de tratamento para lavanderias utilizando reator fotoquímico, de forma a contribuir com o descarte ambientalmente correto de seus efluentes.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar um sistema de tratamento utilizando reator fotoquímico para o efluente de uma lavanderia industrial que seja eficiente na remoção de matéria orgânica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o efluente bruto e tratado proveniente de uma lavanderia;
- Estudar os processos oxidativos avançados (UV, H₂O₂/UV, TiO₂/UV e H₂O₂/TiO₂/UV) e condições operacionais de modo a propor um tratamento para o efluente;
- Verificar a eficiência de remoção de matéria orgânica que o tratamento proporciona através da análise de demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Água

Aproximadamente 663 milhões de pessoas não possuem acesso direto a fontes livres de contaminação fecal e utilização animal. Além disso, ao menos 1,8 bilhão de pessoas não têm acesso seguro à água com condições mínimas para o consumo humano (WHO/UNICEF, 2015).

Segundo Victorino (2007), a Ásia, com 60% da população mundial, dispõe somente de 32% de recurso hídrico e os países árabes, com 4,5% da população mundial, possuem apenas 0,43% da água do mundo todo.

Apesar do crescimento econômico e populacional, não há aumento na preocupação com o ciclo natural da água e conseqüentemente há a degradação e desapropriação da água para consumo. Logo, o mau uso, resulta em escassez e poluição hídrica (BARROS, 2008). Segundo Libânio (2008), a poluição das águas naturais pode ocorrer principalmente por atividades antrópicas e inserção de substâncias estranhas ao meio aquático, como despejo de efluentes domésticos e industriais.

Um dos principais agentes poluidores é a matéria orgânica biodegradável, principalmente oriunda de esgotos domésticos, que quando decomposta por bactérias aeróbias ocasiona a diminuição de oxigênio dissolvido do corpo hídrico (LIBÂNIO, 2008).

O gerenciamento dos recursos hídricos inclui a junção de ações de diferentes indivíduos que utilizam estes recursos, com intuito de conciliar o seu uso, controle e proteção com vistas ao desenvolvimento sustentável. É um desafio preservar os recursos de água atuais sem comprometer a disponibilidade qualitativa e quantitativa para populações futuras (CUNHA et al, 2012).

De acordo com Schoenhals e Porto (2013), o aumento do custo para obtenção de água tratada juntamente com critérios mais rígidos de descarte de efluentes, crescentemente estimulam a reutilização da água industrial.

3.2 Efluentes líquidos

A Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2011), define efluente como os despejos líquidos resultantes de variadas atividades ou processos. A mesma Resolução distingue lançamento direto e indireto, sendo o direto aquele que ocorre diretamente ao corpo receptor, e lançamento indireto aquele que é conduzido por meio de rede coletora que recebe outras colaborações antes de chegar ao corpo receptor.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, a água é dita poluída quando se apresenta tão alterada que já não contém as condições necessárias para a utilização que estaria destinada em seu estado natural. Portanto, é indispensável o tratamento de efluentes líquidos, tais como esgotos e despejos industriais, anteriormente ao seu despejo em rios e corpos receptores.

Costa et al. (2009) afirmam que pelo fato de a água ser usada como insumo em muitos processos industriais, além de ser solvente de processos, meio de transporte e agente de limpeza, grande parte dessa água utilizada é devolvida ao meio ambiente com dejetos e sem condições de uso, chegando aos rios com alto poder de contaminação e ocasionando poluição.

A constante atividade industrial juntamente com novos produtos sendo lançados no mercado dificultam a identificação e quantificação dos produtos orgânicos que podem estar incorporados no efluente. A utilização desses compostos nos processos industriais pode ser prejudicial ao ser humano, sendo capaz de ocasionar desde pequenas irritações nos olhos e nariz até câncer, danos a órgãos, depressão e mutagênese (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Além disso, outras implicações podem ser ocasionadas pelo despejo incorreto de efluentes nos corpos hídricos, como a eutrofização dos ambientes aquáticos.

Segundo Branco et al. (2006) a eutrofização é crescente e vem sendo ocasionada por atividades antrópicas que causam enriquecimento de nutrientes dos ecossistemas pelo excesso da presença de nitrogênio e fósforo. Uma das principais fontes no enriquecimento é identificada como descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos. Essas atividades geram impactos e deterioração da qualidade da água, bem como interferem na quantidade de água disponível.

Segundo Mota (2006), os efeitos mais facilmente perceptíveis da eutrofização são a alteração do sabor, odor, turbidez e cor da água; redução do oxigênio dissolvido; mortandade de peixes e outros animais; e redução da balneabilidade.

De acordo com Telles e Costa (2007), a falta de eficiência na coleta e tratamento de efluentes juntamente com o lançamento de esgotos não tratados em corpos hídricos refletem em sua degradação.

O parâmetro de qualidade do efluente, segundo a Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011) é dado por substâncias ou outros indicadores representativos dos contaminantes toxicologicamente e ambientalmente significativos do resíduo líquido.

3.3 Efluentes de lavanderia

Os efluentes provenientes de lavanderias geralmente empregam diversos produtos no processo de lavagem de roupas, como amaciantes, alvejantes, tensoativos e fibras de tecidos (BUSS et al., 2015).

De acordo com Menezes (2005), o efluente de lavanderia apresenta carga orgânica, coloração, baixa tensão superficial e grande quantidade de sólidos suspensos. Logo, a problemática ambiental nos resíduos líquidos de lavanderias está diretamente ligada aos insumos químicos utilizados na lavagem de roupas.

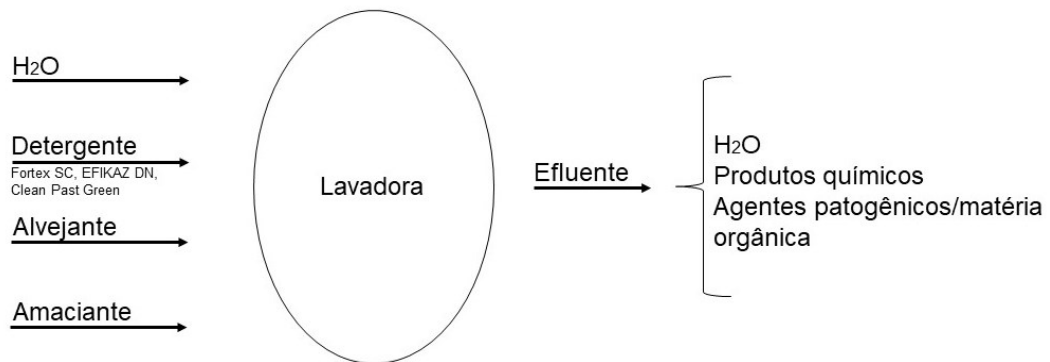
A presença de produtos químicos no efluente pode ocasionar problemas nas estações de tratamento de efluentes por processos biológicos, devido às características recalcitrantes e antibacterianas dessas substâncias. Portanto, o prejuízo ambiental dos resíduos líquidos de lavanderia é evidenciado, podendo manifestar riscos aos ecossistemas aquáticos que são submetidos a tais compostos (FEITOSA, 2015).

Altos teores de matéria orgânica em corpos hídricos e esgotos causa o consumo de oxigênio dissolvido pelos próprios microrganismos em seus processos metabólicos de uso e estabilização da mesma, que é o problema predominante de poluição das águas. Os parâmetros mais comumente utilizados em laboratório para determinar os constituintes da matéria orgânica em águas residuárias são a DBO e a DQO, pois retratam de uma maneira indireta, a quantia de matéria orgânica, ou sua capacidade de poluir (VON SPERLING, 2005).

No estudo de Nagalli e Nemes (2009) verificou-se que o despejo de efluentes de lavanderias em corpos hídricos pode aumentar a concentração da DQO em até 15% em comparação a concentração do parâmetro a montante do ponto de lançamento do efluente.

Conforme representado por Kist et al. (2009) na Figura 1, a forma de distribuição da lavagem quanto à entrada e saída de líquidos se dá com a entrada de água e produtos químicos para a limpeza e desinfecção de roupas nas lavadoras e saída do efluente.

Figura 1 - Fluxograma simplificado da entrada e saída de líquidos no processo



Fonte: adaptado de Kist et al. (2009).

Ainda de acordo com Kist et al. (2009), deve-se ter cuidado com a adição de produtos químicos necessários para a lavagem quando esta é realizada manualmente, pois quando dosadas quantidades superiores à quantidade mínima necessária resulta em excesso de produtos químicos que são destinados à rede pública de esgotos, ocasionando aumento de possíveis impactos tóxicos e contaminantes no corpo receptor.

Os sabões e detergentes são substâncias superficialmente ativas, denominadas surfactantes, que diminuem a tensão superficial da água e aumentam a capacidade umectante de sólidos, possibilitando a remoção das sujeiras que estão aderidas às roupas (MELLADO e GALVÍN, 1999).

De acordo com Von Sperling (2005), a inserção de surfactantes nos corpos hídricos receptores é prejudicial pois há geração de espumas e redução da tensão superficial da água, ocasionando deterioração dos ecossistemas aquáticos.

Segundo Feitosa (2015), os efluentes necessitariam ser submetidos a tratamentos antes do descarte na rede pública e no corpo hídrico. Contudo, são poucas as lavanderias que realizam o tratamento adequado, o que ocasiona presença de carga orgânica e outros componentes que ocasionam impactos significativos ao meio ambiente.

3.4 Legislação aplicada

Muitas empresas interpretam a questão ambiental como despesa necessária, e quando realizam processos produtivos ambientalmente adequados, a atitude é tomada mais para atender requisitos legais, do que por responsabilidade ambiental (DIAS, 2006).

Segundo Schoenhals e Porto (2013), inúmeras alterações quanto às políticas e regulamentos, tanto nacionais como internacionais, foram realizadas particularmente nas últimas três décadas. De acordo com os mesmos autores, os valores limites dos parâmetros controlados foram ajustados para preservar o meio ambiente.

A Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011), complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005) e dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Segundo a mesma resolução, o órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento, mediante fundamentação técnica acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos. Isto pode ser feito tendo em vista as características do corpo receptor, ou exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor.

A nível estadual, a Resolução SEMA nº 021/09 (PARANÁ, 2009), estabelece condições e padrões de DBO₅, DQO, óleos e graxas, óleos vegetais e gorduras animais, e óleos minerais, para lançamento dos efluentes de estações de tratamento de esgoto. A Resolução CEMA nº 070/09 (PARANÁ, 2009) dispõe sobre o licenciamento ambiental e estabelece condições e critérios e dá outras providências

para empreendimentos industriais, estabelecendo limites de parâmetros de acordo com cada setor industrial.

Na Tabela 1 apresentam-se os limites de despejo de efluentes em corpos hídricos, de acordo com as Resoluções CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011) e CEMA nº 070/09 (PARANÁ, 2009), importantes para avaliar a necessidade de tratamento de efluentes.

Tabela 1 - Padrões e limites para lançamento de efluentes

Parâmetros	CONAMA 430/2011	CEMA 070/2009
pH	entre 5 a 9	entre 5 a 9
DBO ₅	remoção mínima de 60%	50 mg/L
DQO	-	200 mg/L
Materiais sedimentáveis	até 1 mL/L	até 1 ml/L
Óleos minerais	até 20 mg/L	-
Óleos vegetais e gorduras animais	até 50 mg/L	-

Fonte: adaptado da resolução CONAMA nº 430/11 e CEMA 070/09.

Os municípios têm como dever introduzir legislação exclusiva para a preservação dos mananciais, e manter a população informada sobre melhorias realizadas ou a serem realizadas para promover condições de tratamento da água que é destinada às suas comunidades (Victorino, 2007). Segundo a mesma autora, a falta de manutenção em tubulações antigas e danificadas ocasionam perda de até 40% de água tratada.

3.5 Tratamento dos efluentes

O uso de tecnologias limpas com finalidade de reuso e reciclo de efluentes sólidos e líquidos industriais conduz à redução de carga poluidora, e também evita que poluentes sejam lançados no meio ambiente (SAUER, 2006).

O primeiro passo para o estudo preliminar de projetos é conhecer as características das águas residuárias industriais, pois os possíveis tratamentos só podem ser definidos a partir do levantamento destas características. Assim, se conhece também o potencial poluidor de determinado efluente quando este é lançado no corpo hídrico receptor (NUNES, 2012).

A diversa utilização de matéria-prima e diferentes esquemas de produção pela indústria têxtil dificultam a determinação das características dos efluentes. Logo, necessita-se conhecer e entender o processo estudado, as operações e as características de efluentes individuais para se identificar a principal origem da poluição, propondo assim uma estratégia de redução de poluição e avaliar se há necessidade de tratamento de efluentes (FREITAS, 2002).

É necessário que seja realizado um tratamento preliminar do efluente, para que ocorra a remoção de alguns componentes de águas residuais, como trapos, bastões, flutuadores, grãos e graxas, que podem causar problemas de manutenção ou operação nas etapas de tratamento de esgotos, equipamentos e sistemas auxiliares (METCALF e EDDY, 2003).

Na procura de desenvolvimento de processos alternativos aos convencionais de tratamento na eliminação de substâncias tóxicas e/ou perigosas, surgem os processos oxidativos avançados (POAs), que abrangem a produção de radicais hidroxil que contribuem para a destruição de poluentes orgânicos presentes em efluentes industriais (GALLARD E LAAT, 2000). De acordo com Sauer (2006), a completa destruição provinda dos POAs é a maior vantagem quando comparado com outros tratamentos que apenas realizam a passagem do poluente para outra fase.

3.5.1 Processos Oxidativos Avançados (POAs)

Os processos de oxidação avançados são utilizados para oxidar constituintes orgânicos encontrados em efluentes que são de difícil degradação biológica em produtos finais mais simples. Esses processos tipicamente envolvem a geração e o uso de radicais livres de hidroxila como um forte oxidante para desintegrar compostos que não podem ser oxidados por oxidantes convencionais como oxigênio e cloro (METCALF e EDDY, 2003).

Segundo os mesmos autores, com exceção do flúor, o radical hidroxil é um dos mais ativos oxidantes conhecidos, pois reage com constituintes dissolvidos, iniciando assim uma série de oxidações até que os constituintes sejam completamente mineralizados, formando CO_2 e H_2O .

O processo de oxidação química é geralmente realizado utilizando-se ozônio, peróxido de hidrogênio ou algum outro oxidante convencional. Porém, na maioria

dos casos a oxidação de compostos orgânicos, mesmo sendo termodinamicamente favorável, é cineticamente lenta (AZEVEDO, 1999). Ainda de acordo com o autor, a principal vantagem dessas tecnologias é a inexistência de subprodutos, a real eliminação da poluição.

3.5.1.1 Tratamento por fotólise

A fotólise ocorre através de um método de degradação das moléculas de um determinado composto, por meio aquoso, juntamente com a ação da luz ultravioleta. A radiação incorporada impulsiona a excitação dos átomos da molécula e então inicia-se o procedimento de desativação ou formação de foto-produtos (MOTA, 2010).

A oxidação com radiação UV se refere à interação da energia de radiação com moléculas orgânicas, promovendo interrupção nas ligações químicas. Quanto maior a absorção de radiação UV por uma molécula, maior a possibilidade de fotodegradação da mesma (DANIEL, 2001).

3.5.1.2 Tratamento por H₂O₂/UV

A fotoclivagem do peróxido de hidrogênio através da irradiação UV acarreta em um método direto para geração de radicais hidroxila. O processo que utiliza H₂O₂/UV pode resultar na degradação completa e à conversão da maioria dos contaminantes orgânicos a CO₂ e H₂O e sais inorgânicos (ARAUJO et al, 2006).

A radiação UV quando utilizada juntamente com peróxido de hidrogênio, resulta na fotólise do H₂O₂ produzindo radicais hidroxila (1) (METCALF e EDDY, 2003).



3.5.1.3 Tratamento por fotocatalise heterogênea

A fotocatalise heterogênea é uma tecnologia de tratamentos industriais e descontaminação ambiental pertencente ao grupo dos processos oxidativos avançados, sendo estes processos fundamentados na criação de radicais hidroxila como oxidante (ZIOLLI e JARDIM, 1998).

De acordo com Nogueira e Jardim (1998), a fotocatalise heterogênea abrange a ativação de um semicondutor através de luz solar ou artificial, resultando em radicais hidroxilas ($\text{HO}\bullet$) a partir de moléculas de H_2O adsorvidas na superfície do semicondutor possibilitando a oxidação do contaminante orgânico.

O dióxido de titânio (TiO_2) é o semicondutor mais usado em fotocatalise por ter várias propriedades, como baixo custo, possibilidade de reutilização, ausência de toxicidade (NOGUEIRA e JARDIM, 1998), e por ser altamente eficiente na degradação de compostos orgânicos (LAKSHMI et al, 1995). O TiO_2 apresenta também excepcional propriedade ótica e eletrônica e estabilidade química (LITTER, 1999).

Segundo Ziolli e Jardim (1998), o procedimento de oxidação ocorre com a irradiação de um fotocatalisador, cuja energia do fóton deve ser maior ou igual a energia de “band gap” do semicondutor para promover uma transição eletrônica, ou seja, uma excitação. Dessa forma, submetido à irradiação, um elétron passa da banda de valência para a banda de condução gerando sítios oxidantes e redutores que proporcionam a catalisação de reações químicas, oxidando matéria orgânica em CO_2 e H_2O .

O catalisador pode ser utilizado de duas formas, em suspensão e imobilizado, sendo que em suspensão apresenta a vantagem de maior área superficial em relação ao sistema imobilizado, ao contrário do imobilizado que tem a fixação do catalisador em suportes sólidos, reduzindo assim sua área superficial (SAUER, 2006).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no laboratório de águas e efluentes do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão e as análises de caracterização do efluente e dos parâmetros analisados nas reações foram efetuadas externamente pelo Laboratório da Garantia da Qualidade – LGQ, localizado em Francisco Beltrão.

4.1 Caracterização do efluente

O efluente foi disponibilizado por uma lavanderia industrial localizada na cidade de Francisco Beltrão - Paraná que presta serviços de lavagem de uniformes de uma empresa que processa alimentos. O efluente em estudo foi coletado em uma caixa de passagem que liga a tubulação da lavanderia ao tratamento atual do efluente.

As lavagens ocorrem em larga escala, pois a lavanderia opera todos os dias da semana, por vinte e quatro horas. Para cada lavagem, a empresa utiliza equipamentos com capacidade de até 150 quilos e o consumo de água é de aproximadamente 85.000 litros por dia.

A lavanderia possui quatro lavadoras industriais (Figura 2), cinco secadoras e três centrífugas de secagem, e utiliza detergentes alcalinos e umectantes que contém tensoativos em suas fórmulas na limpeza e desinfecção das roupas.

Figura 2 - Área em que estão dispostas as lavadoras industriais da lavanderia



Fonte: Própria.

A caracterização do efluente antes do tratamento foi realizada de acordo com os procedimentos descritos no Standard Methods (APHA, 2017). Foram realizadas análises de DQO, DBO₅, cor aparente, pH, sólidos totais, condutividade elétrica, contagem de coliformes termotolerantes e surfactantes.

4.2 Coleta das amostras

As coletas foram realizadas em dois momentos, com datas distintas. No primeiro momento foram coletados dois litros de amostra do efluente para posterior caracterização do efluente em estudo. Já no segundo momento, foram coletados dez litros de efluente que foram utilizados nas reações dos tratamentos.

O efluente foi coletado em uma caixa de passagem (Figura 3) e este passa por um processo de gradeamento para a retirada dos sólidos grosseiros que possam haver.

Figura 3 - Local de coleta do efluente da lavanderia



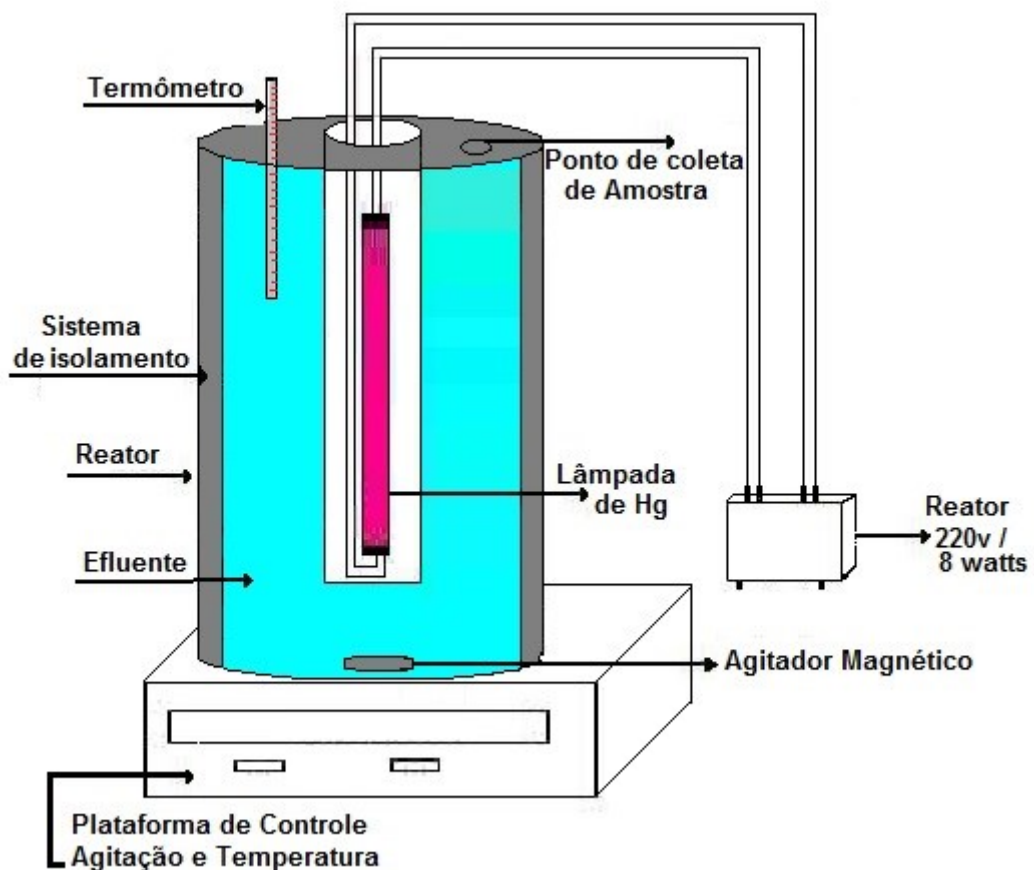
Fonte: Própria.

O efluente coletado foi armazenado de acordo com procedimentos descritos no Standard Methods (APHA, 2017).

4.3 Reator Fotoquímico

Para a realização dos ensaios, foi utilizado um reator (Figura 4) com capacidade para dois litros e este foi construído com um tubo transparente de vidro, com diâmetro interno de 11 cm e altura de 37 cm. A fonte de radiação ultravioleta foi a mesma para todos os processos, com 8 watts de potência, que foi fixada no centro do reator com um tubo de quartzo (3 cm de diâmetro interno por 30 cm de altura) para sua proteção. O reator esteve sobre uma plataforma de agitação magnética com aquecimento, onde se introduz uma barra magnética dentro do tubo de vidro para favorecer a homogeneização do efluente. O reator foi encamisado com uma proteção isolante de alumínio de 0,01 mm de espessura.

Figura 4 - Esquema do reator fotocatalítico



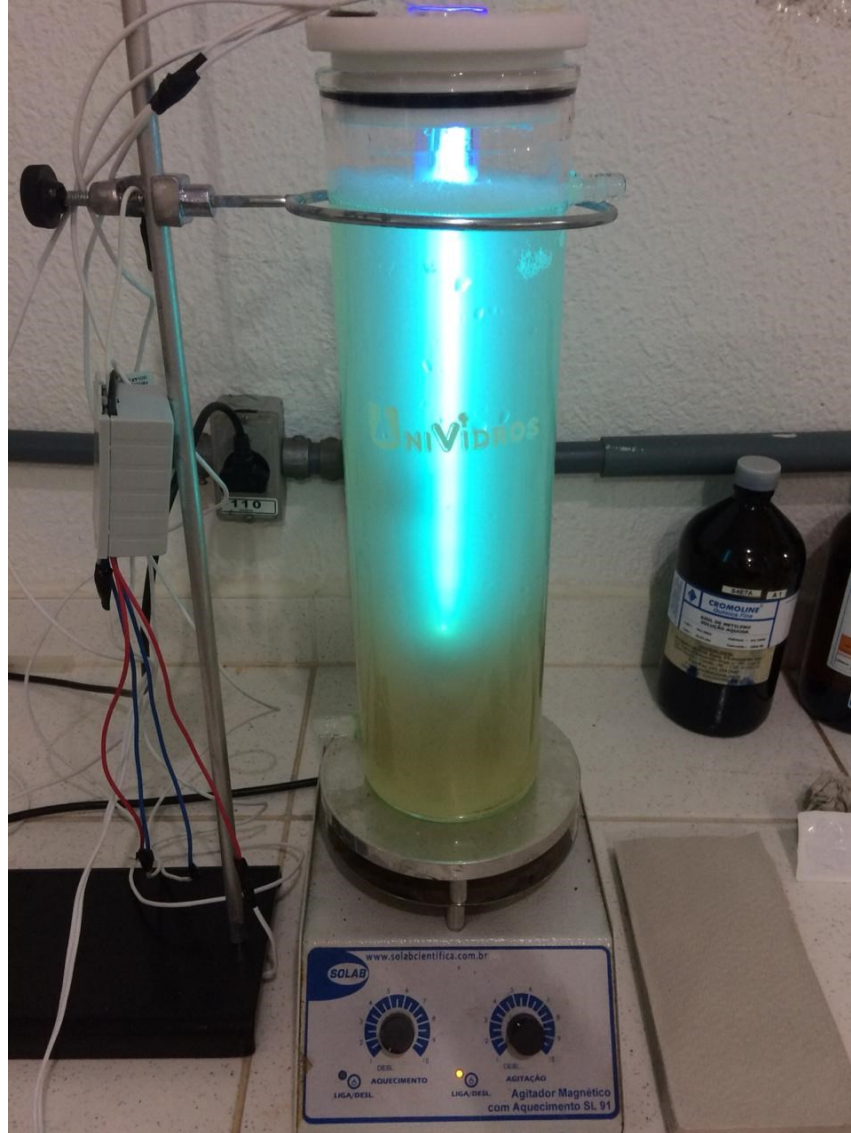
Fonte: Própria.

4.4 Tratamento do efluente

Foram avaliadas diferentes formas de tratamento, entre elas luz UV, H_2O_2/UV , TiO_2/UV e $H_2O_2/TiO_2/UV$. Para avaliar esses tratamentos utilizou-se um reator

fotoquímico com agitador (Figura 5). As reações ocorreram em batelada, e foram realizadas durante o tempo de duas horas onde a lâmpada UV era ligada no início da reação e permanecia assim durante o período reacional.

Figura 5 - Reator fotoquímico real



Fonte: Própria.

Foram utilizadas quatro configurações de tratamento: somente efluente em contato com a luz UV, efluente com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em contato com a luz UV, efluente com dióxido de titânio (TiO_2) em contato com luz UV e efluente com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e dióxido de titânio (TiO_2) em contato com a luz UV, sendo que cada experimento foi realizado contendo dois litros de efluente, e o efluente com pH neutro.

Nas reações com H₂O₂ acrescentou-se 1,8 g/L de peróxido de hidrogênio juntamente ao efluente. E nas reações de fotocatalise acrescentou-se 1,0 g/L de dióxido de titânio (TiO₂) junto ao efluente em estudo, conforme estudos anteriores (Sauer, 2002; Sauer 2006, Maculan, 2016;).

Nas amostras em que foi adicionado dióxido de Titânio (TiO₂) se fez necessária a separação desta substância ao fim do processo, que se deu por centrifugação. Para a centrifugação, foi utilizada uma centrífuga de bancada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Francisco Beltrão, que operou a 3000 rpm (rotações por minuto) durante cinco minutos.

A centrifugação se fez necessária pois ao fim do processo é preciso remover o TiO₂, sendo coletado o sobrenadante para a realização das análises e descartado o decantado.

4.5 Eficiência do tratamento

A eficiência do tratamento foi verificada através da remoção de matéria orgânica utilizando a relação DQO/ DBO₅. A porcentagem de eficiência do tratamento é calculada tanto para remoção de DBO₅ quanto para remoção de DQO (2).

$$\% \text{ eficiência} = \left(\frac{X_i - X_f}{X_i} \right) * 100 \quad (2)$$

Sendo:

X_i = DBO₅ ou DQO inicial

X_f = DBO₅ ou DQO final

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do efluente

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados das análises realizadas para a caracterização do efluente antes das reações com o reator fotoquímico.

Tabela 2 – Parâmetros analisados na caracterização do efluente

Parâmetro	Resultado	Comparações
Demanda Bioquímica de Oxigênio	86,81 mg de O ₂ /L	50 mg de O ₂ /L (PARANÁ, 2009)
Demanda Química de Oxigênio	155,02 mg de O ₂ /L	200 mg de O ₂ /L (PARANÁ, 2009)
Contagem de coliformes termotolerantes	4,0 x 10 ⁵ UFC/100mL	Ausência em 100 mL (BRASIL, 2004)
Sólidos totais	191,00 mg/L	290 mg/L (NAGALLI e NEMES, 2009)
Condutividade elétrica	215,60 µS/cm	100 µS cm ⁻¹ (VON SPERLING, 2005)
Determinação de pH	6,9	Entre 5 a 9 (BRASIL, 2011)
Cor aparente	268,0 µH (mg Pt-Co/L)	15 uH (BRASIL, 2004)
Substâncias tensoativas que reagem com o Azul de Metileno até 2,0 mg/L - Surfactantes	1,20 mg/L	0,5 mg/L (BRASIL, 2004)

Fonte: Própria.

O limite para despejo de efluentes de lavanderias industriais em relação à DBO₅ em corpos de água é 50 mg de O₂/L, logo o valor 86,81 mg de O₂/L resultante do presente estudo, está acima do padrão estabelecido (BRASIL, 2005).

O resultado 155,02 mg de O₂/L no efluente da lavanderia industrial (Tabela 2) atende ao padrão estabelecido pela Resolução CEMA nº 070/09 (PARANÁ, 2009) que é de 200 mg/L.

O valor máximo permitido para o consumo humano de acordo com a Portaria nº 518/04 (BRASIL, 2004) é a ausência em 100 mL, porém no presente efluente obteve-se um valor de 4,0x10⁵ UFC/100mL, evidenciando assim a necessidade de um tratamento.

Nagalli e Nemes (2009) defendem que os sólidos totais nas águas são referentes ao seu teor da matéria seca, e obtiveram valores de até 290 mg/L em seu

estudo sobre a qualidade de água do corpo receptor de despejos residuários domésticos e industriais.

Obteve-se como resultado de sólidos totais 191,00 mg/L na caracterização do efluente da lavanderia industrial em estudo, corroborando com os resultados encontrados por Nagalli e Nemes (2009).

Segundo Von Sperling (2005), não há um padrão de condutividade elétrica na legislação, mas em águas naturais são encontrados teores na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$, e em meios poluídos por esgotos domésticos ou industriais estes teores podem chegar até 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (PIRATOBA, 2017).

No presente estudo encontrou-se um valor de 215,60 $\mu\text{S cm}^{-1}$, ultrapassando o teor definido por Von Sperling (2005) como aceitável para águas livres de interferência antrópica.

Os efluentes podem ser lançados diretamente ao corpo hídrico receptor apenas quando estes estiverem com pH na faixa entre 5 a 9, portanto, o efluente em estudo estando com o pH igual a 6,9 não possui restrições em relação ao lançamento no corpo hídrico (BRASIL, 2011).

O padrão de cor aparente aceitável para o consumo humano de acordo com a Portaria nº 518/04 (BRASIL, 2004) é de 15 uH. Logo, o efluente em estudo não se enquadra nesse intervalo aceitável pois tem 268 μH , aproximadamente 18 vezes maior que o padrão estabelecido para consumo.

A Portaria nº 518/04 (BRASIL, 2004) do Ministério da Saúde estabelece 0,5 mg/L como limite para o parâmetro surfactantes em águas para consumo humano. No presente estudo, obteve-se como resultado 1,2 mg/L referente à surfactantes no efluente proveniente da lavanderia, conseqüentemente não se enquadra em água própria ao consumo, sendo necessária sua remoção via tratamento.

5.2 Efetividade dos tratamentos

Os resultados das análises de DBO_5 e DQO realizadas na amostra bruta do efluente antes do tratamento, e nas amostras resultantes das reações com a luz UV estão descritos na tabela a seguir (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados de DBO₅ e DQO dos diferentes tratamentos avaliados

Tratamento	DBO₅	DQO
Antes do tratamento	257,24 mg de O ₂ /L	504,40 mg de O ₂ /L
Luz UV	212,99 mg de O ₂ /L	409,60 mg de O ₂ /L
H ₂ O ₂ /UV	241,11 mg de O ₂ /L	446,50 mg de O ₂ /L
TiO ₂ /UV	391,46 mg de O ₂ /L	711,75 mg de O ₂ /L
H ₂ O ₂ /TiO ₂ /UV	602,02 mg de O ₂ /L	1147,00 mg de O ₂ /L

Fonte: Própria.

De acordo com a Tabela 3, houve redução da DBO₅ e da DQO após o tratamento com luz UV e H₂O₂, porém esta redução foi menor quando comparada ao tratamento de fotólise direta. As porcentagens de redução para o tratamento com luz UV e H₂O₂ foram 6,3% de DBO₅ e 11,5% de DQO.

Marmitt et al (2010) simularam um efluente industrial contendo corantes alimentícios sintéticos visando a redução de coloração e da DQO através de fotólise direta com o efluente passando por dois reatores consecutivos, e obteve como resultado reduções de 5,09% e 11,6% respectivamente, para o primeiro e segundo tratamento. Além disso, os autores verificaram que a DQO teve redução de 8% após o segundo tratamento, que condiz com a remoção de coloração de 11,6%.

Os resultados obtidos quando o efluente esteve submetido ao tratamento de fotocatalise heterogênea com TiO₂ apresentaram um aumento nos valores de DQO e DBO₅.

Não houve remoção tanto de DBO₅ quanto de DQO após o tratamento com luz UV e TiO₂, inclusive as porções de DBO₅ e DQO aumentaram 52,2% e 41,1%, respectivamente. O resultado pode estar associado a presença de substâncias sequestrantes. De acordo com Lopes (2004), entre essas substâncias podem estar íons inorgânicos, carbonatos e fosfatos.

Kist (2009) defende que a nível de bancada a fotocatalise se apresenta como um método altamente eficiente, porém quando se cogita implantar sistemas fotocatalíticos para tratamento de efluentes em escala industrial há o problema de desenvolvimento e otimização de reatores que suportem a demanda industrial.

Da mesma forma que o tratamento com fotocatalise heterogênea não apresentou resultados satisfatórios, a reação com luz UV juntamente com TiO₂ e

H₂O₂ também não se mostrou adequada, pois além de não reduzir as demandas de DBO₅ e DQO, as aumentou em 134% e 127,4%, respectivamente.

Esses resultados podem estar associados à formação de compostos intermediários durante o processo reacional. A presença de detergentes alcalinos e umectantes no efluente não foi verificada, o que também pode interferir nas reações com o H₂O₂. Além disso, aumentar o tempo de reação conduz à melhoria da eficiência de remoção (JIN-HUI, 2012).

Por outro lado, Sauer (2006) verificou efetividade na descolorização atingindo 65,4% de remoção na cor utilizando TiO₂ estático em fibra de vidro, e 50,68% de remoção com o catalisador em suspensão. Este catalisador é muito utilizado por suas vantagens, sendo uma delas a inexistência de toxicidade.

O reator pode ser configurado de duas maneiras, com o catalisador em suspensão e com o catalisador estático em material de suporte, onde o catalisador não fica disperso no fluido. O sistema em suspensão, de modo geral, tem sido apontado como mais eficiente, principalmente devido à grande área superficial específica de partículas a nível nanométrico. Porém em questões práticas, o sistema imobilizado apresenta a vantagem de não necessitar remoção do catalisador ao final do processo (SAUER, 2006).

6. CONCLUSÃO

Os tratamentos de fotólise direta e luz H_2O_2/UV se mostraram válidos pois reduziram as demandas bioquímicas e químicas de oxigênio presentes no efluente.

Com este estudo foi possível obter informações técnicas no processo de escolha de tratamento de resíduos líquidos provenientes de lavanderias de pequeno porte, possibilitando assim que cada vez mais estas empresas possam adotar métodos de tratamento de seus efluentes como os métodos analisados neste estudo.

A avaliação de técnicas de tratamento de efluentes utilizando reator fotoquímico foi de extrema valia, pois possibilitou o estudo dos processos de oxidação avançada e suas aplicabilidades.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Fatores como cinética de degradação utilizando diferentes faixas de concentração de H_2O_2 e TiO_2 devem ser observados. Além disso, para que os resultados sejam mais efetivos, é necessário avaliar outros parâmetros além dos que foram abordados no presente estudo, observar diferentes tempos de reações, outras faixas de pH, diferentes quantidades dos reagentes e também diferentes configurações do reator, como por exemplo, a utilização de um reator de fluxo contínuo de forma a aumentar a efetividade do tratamento e evitar a geração de produtos indesejados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). **Fatos e tendências: água**. Brasília, 2009.

Disponível em:

http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf.

Acesso em: 01 jul. 2017.

American Public Health Association (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington D.C.: Pharmabooks, 2017.

ARAUJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$. **Química nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 11-14, jan./fev. 2006.

AZEVEDO, E. B. Poluição vs tratamento de água: duas faces da mesma moeda.

Química nova na escola, São Paulo, v. 10, p. 21-25, nov. 1999. Disponível em:

http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=qne&cod=_quimicaesociedadepoluica. Acesso em: 13 jul. 2017.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista brasileira de gestão e desenvolvimento regional**, Taubaté, SP, v. 4, n. 1, p. 75-108, jan./abr. 2008. Disponível em:

<http://www.rbgdr.net/012008/artigo4.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2017.

BRANCO, S. M.; AZEVEDO, S. M. F. O.; TUNDISI, J.G. Água e saúde humana. In: REBOUÇAS, A.C; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3 ed. São Paulo: **Escrituras**, 2006. p.241-265.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento,

bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 17 mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 13 mai. 2011.

BRASIL. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Legislação para águas de consumo humano. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, mar. 2004.

BUSS, M. V.; RIBEIRO, E. F.; SCHNEIDER, I. A. H.; MENEZES, J. C. S. S. **Tratamento dos Efluentes de uma Lavanderia Industrial: Avaliação da Capacidade de Diferentes Processos de Tratamento**. Rio Grande do Sul: Revista de Engenharia Civil IMED, S.D., 2015.

COSTA, A. P. J.; SILVA, A. L.; MARTINS, R. S. Um estudo sobre estações de tratamento de efluentes industriais e sanitários da empresa Dori Alimentos LTDA. REGRAD – **Revista de Graduação UNIVEM**, Marília-SP, v.1, p. 6-22, 2009.

CUNHA, I. N.; CORTEZ, T. B.; COSTA E SIILVA, S. M; CUNHA, A. H. N. **Aspectos regulatórios para reúso de água no Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 3., 2012, Goiás, Anais; IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.

DANIEL, L. A. Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. 1 ed. São Carlos: **PROSAB**, 2001.

DIAS, R. *Gestão Ambiental: Responsabilidade Social e Sustentabilidade*. São Paulo: **Atlas**, 2006.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. 2.ed. São Paulo: **Editora Rima**, 2005. v. 2.

FEITOSA, A. K.; BERWANGER, L.; HILGEMANN, M. Análise de efluentes de uma lavanderia universitária. **Exatas & Engenharia**, [S.l.], v. 5, n. 11, jun. 2015. ISSN 2236-885X. Disponível em:

http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas_e_engenharia/article/view/585. Acesso em: 12 jun. 2017.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento têxtil**. Florianópolis, 2002.

GALLARD, H.; LAAT, J.; (2000). Kinetic modeling of Fe (III)/H₂O₂ oxidation reactions in dilute aqueous solution using atrazine as a model organic compound. **Water Research**, v.34, p. 3107 – 3116.

JIN-HUI, Z. Research on UV/TiO₂ Photocatalytic Oxidation of Organic Matter in Drinking Water and Its Influencing Factors. **Elsevier B.V.** p. 445 – 452. Singapore, 2011.

KIST, L. T.; FLORES, C. P.; CORBELLINI, V. A.; MACHADO, E. L. Aplicação do método UV/TiO₂ para tratamento de efluente de lavanderia de manutenção mecânica que contém fenóis. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul , v.13, p. 35-40, jan/jun 2009.

LAKSHMI S., RENGANATHAN R. e FUJITA S. (1995). Study on TiO₂-mediated photocatalytic degradation of methylene blue. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**. v 88. p 163-167.

LEME, E. J. A. Manual prático de tratamento de águas residuárias. 2 ed. São Carlos: **EdUFSCar**, 2014.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 2 ed. Campinas, SP: **Editora Átomo**, 2008.

LITTER, M. (1999). Heterogeneous photocatalysis (Review). **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 23, p. 89-114.

LOPES, B. C. **Efeitos da fotólise e fotocátalise heterogênea sobre a dinâmica de fármacos presentes em esgoto sanitário tratado biologicamente**. 2014. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2014.

MACULAN, J. L.; LUZZA, M.; POKRYWIECKI, J. C.; DUSMANN, E.; TONIAL, I. B.; SAUER, T. Aplicação de fotoirradiação solar para tratamento de efluentes de laticínios. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 22. Criciúma, 2016.

MARMITT, S.; PIROTTA, L. V.; STULP, S. Aplicação de fotólise direta e UV/H₂O₂ a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios. **Quim. Nova**, Lajeado, v. 33, n. 2, p. 384-388, 2010.

MELLADO, J. M.; GALVÍN, R. M. **Fisicoquímica de Águas**. Madrid: Ediciones Diaz de Santos, 1999. 466p.

MENEZES, J. C. S. S. **Tratamento e Reciclagem do Efluente de uma Lavanderia Industrial**. (Dissertação de Mestrado). Porto Alegre, 2005.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. McGrawHill, New York, 2003.

MOTA, A. L. N. **Desenvolvimento de um sistema foto-oxidativo visando aplicação no tratamento de águas produzidas em campos de petróleo**. 2010. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MOTA, S. Introdução à engenharia ambiental. 4. ed. Rio de Janeiro: **ABES**, 2006.

NAGALLI, A.; NEMES, P. D. Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 131-144, abr./jun. 2009.

NOGUEIRA, R.F.P; JARDIM, W.F.; A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, v. 21, p. 1, 1998.

NUNES, J. A. Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais. 6 ed. Aracaju: **Gráfica Editora J. Andrade**, 2012.

PARANÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente, CEMA. Resolução nº 070, de 01 de outubro de 2009. Anexo 7 - Padrões para o lançamento de efluentes líquidos. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais**. Instituto Ambiental do Paraná, 01 out. 2009.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, SEMA. Resolução nº 021, de 22 de abril de 2009. **Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento**. Instituto Ambiental do Paraná, 22 abr. 2009.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena. **Revista Ambiente & Água**, Belém, v. 12, p. 435-456, jun. 2017.

SAUER, T. **Degradação fotocatalítica de corante e efluente têxtil**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SAUER, T. **Tratamento de efluentes de curtume através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SCHOENHALS, M.; PORTO, A. E. B. Tratamento de efluentes, reúso de água e legislação aplicada em lavanderia têxtil industrial. **Engenharia ambiental: pesquisa e tecnologia**, Espírito santo do pinhal, v. 10, n. 2, p. 68-80, mar. 2013.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. Reúso da água: conceitos, teorias e práticas. 1 ed. São Paulo: **Blucher**, 2007.

VICTORINO, C. J. A. Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos. Porto Alegre: **EDIPUCRS**, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on sanitation and drinking water – 2015 update and MDG assessment**. New York: WHO/UNICEF: 2015. Disponível em:

http://files.unicef.org/publications/files/Progress_on_Sanitation_and_Drinking_Water_2015_Update_.pdf?fbclid=IwAR1kwD9MipIHDL2AqOt7iFQGaEdAYo0AslBbitt-Y_InTAKqFh4cuuY2Tng. Acesso em: 05 dez. 2018.

ZIOLLI, R. L.; JARDIM, W. F. Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO_2 . **Química Nova**. v.21, n.3, p.319-325, 1998.

ANEXOS



Relatório de Ensaio 6017/2018.0

Data de Publicação: 18/10/2018 14:07

Identificação Conta

Cliente: Paula Maruthia Bavaresco	CNPJ/CPF: 09557271973
Contato: Paula Bavaresco	Telefone: (46) 999008877
Endereço: Rua sergipe 2581 - São Cristóvão - Francisco Beltrão - Paraná - Brazil	

Identificação da Amostra: 6017-1/2018.0 - Efluente

Data Amostragem: 11/10/2018 13:05	Data Recebimento: 11/10/2018 15:32
Lacre: NA	Ponto de Amostragem: Lavanderia
Responsável pela Amostragem: Paula	Temperatura na Amostragem (Cliente) (°C): NI
Temperatura no Recebimento (°C): 3,8	Quantidade de Amostra recebida (g/mL): 3000ml
Observações: NI	

Resultados Analíticos

Físico Químico

Ensaio	Resultado	LQ	Incerteza	Método de Referência	Data Ensaio
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	86,81 mg de O2/L	0,81	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5210B	11/10/2018 18:30
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	155,02 mg de O2/L	3,00	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5220D	11/10/2018 16:10
Sólidos Totais (ST)	191,00 mg/L	5,30	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 2540B	11/10/2018 17:30
Cor Aparente	268,0 µH (mg Pt-Co/L)	5,0	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 2120C	11/10/2018 15:46
Determinação de pH	6,90	-	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 4500-H+ B	11/10/2018 16:00
Condutividade Elétrica	215,60 µS/cm	0,01	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 2510B	11/10/2018 16:10
Substâncias Tensoativas que reagem com o Azul de Metileno até 2,0 mg/L - Surfactantes	1,20 mg/L	0,24	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5540C; PA-FQ 073 - REV 02	11/10/2018 16:00

Microbiológico

Ensaio	Resultado	LQ	Incerteza	Método de Referência	Data Ensaio
Contagem de Coliformes Termotolerantes	4,0 x 10 ⁵ UFC/100mL	1,0	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 9222D	11/10/2018 16:00

Notas

NI: Não informado. NA: Não aplica. LQ: Limite de quantificação. ND: Não detectável.

Valores de Referência: Consulte a legislação aplicável e em vigor.

Este relatório de ensaio refere-se somente à amostra conforme recebida e só pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração. Plano e método de amostragem e informações da amostra são de responsabilidade do solicitante. Opiniões, interpretações e declarações de conformidade não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório. Local da realização dos ensaios LGQ Laboratório: Instalações permanentes.

Aridiany de Lara
Responsável pela Publicação do Relatório

Arizangela de Lara - CRBio 66427/07D
Responsável Técnico Microbiológico

Roberta Roncatti - CRQ IX Reg. 09202107
Responsável Técnico Físico Químico

Chave de Validação: e1eacca989d2489a9cf2051b150ba08f



Relatório de Ensaio 6161/2018.0

Proposta Comercial: PC346/2018.3

Data de Publicação: 07/11/2018 16:25

Identificação Conta

Cliente: Paula Maruthia Bavaresco	CNPJ/CPF: 09557271973
Endereço: Rua sergipe 2581 - São Cristóvão - Francisco Beltrão - Paraná - Brazil	

Identificação da Amostra: 6161-1/2018.0 - Efluente

Data Amostragem: 22/10/2018 16:00	Data Recebimento: 23/10/2018 13:53
Lacre: NA	Ponto de Amostragem: Antes do Tratamento
Responsável pela Amostragem: Paula	Temperatura na Amostragem (Cliente) (°C): NI
Temperatura no Recebimento (°C): 04,0	Quantidade de Amostra recebida (g/mL): 01 Litro
Observações: NI	

Resultados Analíticos

Físico Químico

Ensaio	Resultado	LQ	Incerteza	Método de Referência	Data Ensaio
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	257,24 mg de O2/L	0,81	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5210B	23/10/2018 16:40
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	504,40 mg de O2/L	3,00	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5220D	23/10/2018 14:10

Notas

NI: Não informado. NA: Não aplica. LQ: Limite de quantificação. ND: Não detectável.

Valores de Referência: Consulte a legislação aplicável e em vigor.

Este relatório de ensaio refere-se somente à amostra conforme recebida e só pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração. Plano e método de amostragem e informações da amostra são de responsabilidade do solicitante. Opiniões, interpretações e declarações de conformidade não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório. Local da realização dos ensaios LGQ Laboratório: Instalações permanentes.

Aridiany de Lara
Responsável pela Publicação do Relatório

Roberta Roncatti - CRQ IX Reg. 09202107
Responsável Técnico Físico Químico

Chave de Validação: e394246bb885460b9b15e0730705ca51



Relatório de Ensaio 6159/2018.0

Proposta Comercial: PC346/2018.3

Data de Publicação: 07/11/2018 16:25

Identificação Conta

Cliente: Paula Maruthia Bavaresco	CNPJ/CPF: 09557271973
Endereço: Rua sergipe 2581 - São Cristóvão - Francisco Beltrão - Paraná - Brazil	

Identificação da Amostra: 6159-1/2018.0 - Efluente

Data Amostragem: 22/10/2018 18:00	Data Recebimento: 23/10/2018 13:47
Lacre: NA	Ponto de Amostragem: Tratamento com Luz
Responsável pela Amostragem: Paula	Temperatura na Amostragem (Cliente) (°C): NI
Temperatura no Recebimento (°C): 04,0	Quantidade de Amostra recebida (g/mL): 01 Litro
Observações: NI	

Resultados Analíticos

Físico Químico

Ensaio	Resultado	LQ	Incerteza	Método de Referência	Data Ensaio
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	212,99 mg de O2/L	0,81	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5210B	23/10/2018 16:40
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	409,60 mg de O2/L	3,00	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5220D	23/10/2018 14:10

Notas

NI: Não informado. NA: Não aplica. LQ: Limite de quantificação. ND: Não detectável.

Valores de Referência: Consulte a legislação aplicável e em vigor.

Este relatório de ensaio refere-se somente à amostra conforme recebida e só pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração. Plano e método de amostragem e informações da amostra são de responsabilidade do solicitante. Opiniões, interpretações e declarações de conformidade não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório. Local da realização dos ensaios LGQ Laboratório: Instalações permanentes.

Aridiany de Lara
Responsável pela Publicação do Relatório

Roberta Roncatti - CRQ IX Reg. 09202107
Responsável Técnico Físico Químico

Chave de Validação: 7a68d4a903744e89bd0b03a40d5df5b0



Relatório de Ensaio 6160/2018.0

Proposta Comercial: PC346/2018.3

Data de Publicação: 07/11/2018 16:25

Identificação Conta

Cliente: Paula Maruthia Bavaresco	CNPJ/CPF: 09557271973
Endereço: Rua sergipe 2581 - São Cristóvão - Francisco Beltrão - Paraná - Brazil	

Identificação da Amostra: 6160-1/2018.0 - Efluente

Data Amostragem: 22/10/2018 18:00	Data Recebimento: 23/10/2018 13:52
Lacre: NA	Ponto de Amostragem: Tratamento com Peroxido
Responsável pela Amostragem: Paula	Temperatura na Amostragem (Cliente) (°C): NI
Temperatura no Recebimento (°C): 04,0	Quantidade de Amostra recebida (g/mL): 01 Litro
Observações: NI	

Resultados Analíticos

Físico Químico

Ensaio	Resultado	LQ	Incerteza	Método de Referência	Data Ensaio
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	241,11 mg de O2/L	0,81	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5210B	23/10/2018 16:40
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	446,50 mg de O2/L	3,00	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5220D	23/10/2018 14:10

Notas

NI: Não informado. NA: Não aplica. LQ: Limite de quantificação. ND: Não detectável.

Valores de Referência: Consulte a legislação aplicável e em vigor.

Este relatório de ensaio refere-se somente à amostra conforme recebida e só pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração. Plano e método de amostragem e informações da amostra são de responsabilidade do solicitante. Opiniões, interpretações e declarações de conformidade não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório. Local da realização dos ensaios LGQ Laboratório: Instalações permanentes.

Aridiany de Lara
Responsável pela Publicação do Relatório

Roberta Roncatti - CRQ IX Reg. 09202107
Responsável Técnico Físico Químico

Chave de Validação: 21cb5ea928a74e65b8a1c05b33644c43



Relatório de Ensaio 6294/2018.0

Proposta Comercial: PC346/2018.3

Data de Publicação: 07/11/2018 16:27

Identificação Conta

Cliente: Paula Maruthia Bavaresco	CNPJ/CPF: 09557271973
Endereço: Rua sergipe 2581 - São Cristóvão - Francisco Beltrão - Paraná - Brazil	

Identificação da Amostra: 6294-1/2018.0 - Efluente

Data Amostragem: 25/10/2018 17:00	Data Recebimento: 26/10/2018 15:04
Lacre: NA	Ponto de Amostragem: Tratamento com TIO 2
Responsável pela Amostragem: Paula	Temperatura na Amostragem (Cliente) (°C): NI
Temperatura no Recebimento (°C): 04,0	Quantidade de Amostra recebida (g/mL): 50 ml
Observações: NI	

Resultados Analíticos

Físico Químico

Ensaio	Resultado	LQ	Incerteza	Método de Referência	Data Ensaio
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	391,46 mg de O2/L	0,81	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5210B	26/10/2018 17:30
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	711,75 mg de O2/L	3,00	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5220D	26/10/2018 15:30

Notas

NI: Não informado. NA: Não aplica. LQ: Limite de quantificação. ND: Não detectável.

Valores de Referência: Consulte a legislação aplicável e em vigor.

Este relatório de ensaio refere-se somente à amostra conforme recebida e só pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração. Plano e método de amostragem e informações da amostra são de responsabilidade do solicitante. Opiniões, interpretações e declarações de conformidade não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório. Local da realização dos ensaios LGQ Laboratório: Instalações permanentes.

Aridiany de Lara
Responsável pela Publicação do Relatório

Roberta Roncatti - CRQ IX Reg. 09202107
Responsável Técnico Físico Químico

Chave de Validação: 1d8fcd8eb46e4ee0961fba7803a45368



Relatório de Ensaio 6293/2018.0

Proposta Comercial: PC346/2018.3

Data de Publicação: 07/11/2018 16:27

Identificação Conta

Cliente: Paula Maruthia Bavaresco	CNPJ/CPF: 09557271973
Endereço: Rua sergipe 2581 - São Cristóvão - Francisco Beltrão - Paraná - Brazil	

Identificação da Amostra: 6293-1/2018.0 - Efluente

Data Amostragem: 25/10/2018 16:00	Data Recebimento: 26/10/2018 14:58
Lacre: NA	Ponto de Amostragem: Tratamento com Peroxido e TIO 2
Responsável pela Amostragem: Paula	Temperatura na Amostragem (Cliente) (°C): NI
Temperatura no Recebimento (°C): 04,0	Quantidade de Amostra recebida (g/mL): 50 ml
Observações: NI	

Resultados Analíticos

Físico Químico

Ensaio	Resultado	LQ	Incerteza	Método de Referência	Data Ensaio
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	602,02 mg de O2/L	0,81	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5210B	26/10/2018 17:30
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	1.147,00 mg de O2/L	3,00	-	SMWW 23a Edição 2017, Método 5220D	26/10/2018 15:30

Notas

NI: Não informado. NA: Não aplica. LQ: Limite de quantificação. ND: Não detectável.

Valores de Referência: Consulte a legislação aplicável e em vigor.

Este relatório de ensaio refere-se somente à amostra conforme recebida e só pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração. Plano e método de amostragem e informações da amostra são de responsabilidade do solicitante. Opiniões, interpretações e declarações de conformidade não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório. Local da realização dos ensaios LGQ Laboratório: Instalações permanentes.

Aridiany de Lara
Responsável pela Publicação do Relatório

Roberta Roncatti - CRQ IX Reg. 09202107
Responsável Técnico Físico Químico

Chave de Validação: 176b8a60f5c94a9181452691022f11c7