

## **II-262 - REMOÇÃO DO SURFACTANTE ALQUILBENZENO SULFONATO LINEAR (LAS) POR MEIO DE FOTÓLISE E FOTOCATÁLISE COM DIÓXIDO DE TITÂNIO**

**Francisco Javier Cuba Teran<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Mestre e Doutor em Engenharia Civil, na área de Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, com Pós-Doutorado em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos. Professor Adjunto da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida T-15, 1746, Apt. 2003 – Setor Nova Suíça – Goiânia – GO – CEP: 74280-380 – Brasil – (62) 991833981 – e-mail: [paco.ufg@gmail.com](mailto:paco.ufg@gmail.com)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** 11ª Avenida nº 1272 Setor Leste Universitário – Goiânia - Goiás - CEP: 74.605-060 - Brasil - Tel: +55 (62) 3265-1344 - e-mail: [renata.limaguimaraes@gmail.com](mailto:renata.limaguimaraes@gmail.com)

### **RESUMO**

Este estudo avaliou a eficiência da remoção do surfactante alquilbenzeno sulfonato linear (LAS) por meio da aplicação de fotólise e fotocatalise heterogênea com Dióxido de Titânio, na presença da luz ultravioleta – UV. Procurando melhorar a eficiência da remoção do LAS e diminuir os impactos causados pelo lançamento deste composto em corpos hídricos, foi construído, instalado e monitorado um Reator em escala-piloto operado em batelada, com tempo de detenção hidráulica pré-estabelecido de 120 minutos. A parte experimental do trabalho foi realizada utilizando amostras simples de efluente de lavanderia. A execução deste trabalho foi dividida em cinco fases, na primeira fase foi realizada a Fotocatálise 0,1g/L TiO<sub>2</sub>, e nas fases seguintes (2,3,4 e 5) foram aplicados os métodos de fotólise e em seguida a fotocatalise com dióxido de titânio a diferentes concentrações: 0,03 g/L, 0,1 g/L e 0,8 g/L. Os resultados obtidos da eficiência da remoção do LAS nas etapas 1, 2, 3, 4 e 5 foram de 87,4%, 49,9%, 31,7%, 49,3% e 52,9%, respectivamente. A fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio foi mais eficiente como método de remoção do surfactante alquilbenzeno sulfonato linear quando comparado a fotólise, exceto na concentração de 0,03 g/L de TiO<sub>2</sub>, o que pode ter sido influenciado pela amostra de LAS nesta fase não ter sido filtrada, alterando, portanto, os resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Surfactantes, alquilbenzeno sulfonato linear – LAS, oxidação avançada, dióxido de titânio, fotocatalise, fotólise.

### **INTRODUÇÃO**

O LAS é um tensoativo aniônico constituído de uma mistura de homólogos e isômeros de posição de cadeias alquiladas lineares variando de C10 a C16 com predominância de C10 a C13<sup>11,12</sup> (PENTEADO et al. 2005) e, representa 45% do total de tensoativos aniônicos produzidos anualmente (MOLDOVAN et al., 2011).

Em virtude da sua ampla utilização na composição de detergentes de uso doméstico e industrial, esse composto tem-se tornando foco de estudo e monitoramento ambiental, visto que ainda não há tratamentos disponíveis e viáveis para a remoção deste composto e na maioria das vezes as Estações de Tratamento de Esgoto – ETE convencionais não são eficientes na remoção do LAS.

Atualmente, não existem na legislação ambiental vigente valores que delimitem a concentração máxima permitida para surfactantes presentes no esgoto, existindo apenas a limitação quanto à presença de materiais flutuantes inclusive espumas não naturais, que deverão estar ausentes no efluente tratado. Contudo, de acordo com estudos realizados por PENTEADO et al. (2005) e CAVALCANTE et al. (2014) fica evidenciado a toxicidade e os efeitos degradantes do LAS no meio ambiente.

A toxicidade do LAS está relacionada, diretamente, ao comprimento da cadeia alquílica apolar e o tipo de grupamento polar ligado a cadeia, sendo que cadeias alquílicas mais longas podem causar efeitos mais severos (CAVALCANTE et al., 2014).

Um dos impactos comumente observados e bastante comentados dos efeitos do LAS é a formação de espumas, mas esse não é o único, de acordo com PENTEADO et al. (2005) tem-se outros problemas ambientais decorrentes da acumulação do LAS, quais sejam: diminuição da concentração de elementos necessários para a vida aquática, como por exemplo o oxigênio dissolvido, devido à diminuição da tensão superficial água/ar, diminuição da permeabilidade da luz, por manter as partículas presentes em suspensão. Ainda de acordo com PENTEADO et al. (2005) o LAS pode causar o aumento da concentração de compostos xenobióticos, como PCBs e PAHs presentes no sedimento, por solubilização micelar inibindo assim sua degradação, esses estudos demonstraram que o LAS pode provocar interferência em processos biológicos: a troca do contra-íon de LAS ( $\text{Na}^+$ ) pelo ( $\text{NH}_4^+$ ) perturba o equilíbrio no ciclo do nitrogênio, o que inibe o processo de nitrificação que é promovida por certas bactérias autótrofas como as nitrossomas, acarretando na mortandade de organismos.

Nesse sentido e no intuito de contribuir para a redução dos impactos causados pelo lançamento de surfactantes na rede pública de esgoto ou em corpos hídricos receptores, este trabalho apresenta os resultados da aplicação de processos oxidativos avançados (POAs) na remoção do surfactante alquilbenzeno sulfonato linear utilizando dióxido de titânio na presença de luz ultravioleta (UV) utilizando amostras de efluente industrial de uma lavanderia localizada na cidade de Goiânia.

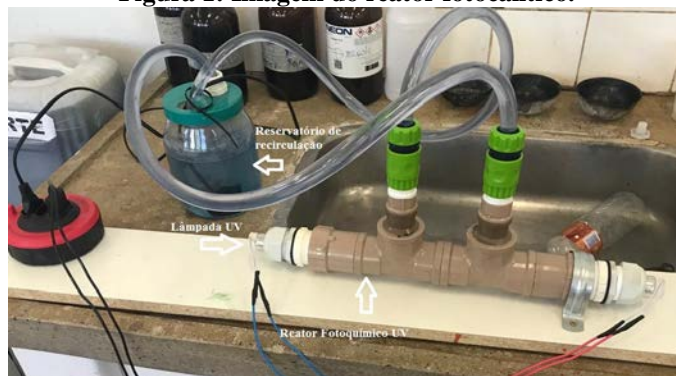
De acordo com FERREIRA (2005) os POAs consistem na geração de radicais livres hidroxila ( $\text{OH}^\bullet$ ) que são agentes com alto potencial de oxidação e capazes de mineralizar poluentes orgânicos complexos em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , ou seja, os (POAs) permitem a degradação completa dos compostos, não ocorrendo apenas a transferência de uma fase para outra como ocorre em alguns processos de tratamento convencionais.

A fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio é um dos processos oxidativos avançados (POAs) mais estudados, nesse caso o  $\text{TiO}_2$  é um semicondutor que atua como um catalisador acelerando a velocidade da reação sem perturbar o equilíbrio e é ativado com luz ultravioleta que produz radicais hidroxilas ( $\text{OH}^\bullet$ ) (GÓMEZ e SARRIA, 2009).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi executado no Laboratório de Tratamento de Efluentes da Universidade Federal de Goiás - UFG, onde foi construído um sistema em escala piloto constituído por um reator composto por uma unidade modular de PVC, de diâmetro nominal de 4 cm, e 30 cm de comprimento e volume útil de 0,3 L, lâmpada de luz UV, da marca RCG, de 15 watts, e um reservatório de recirculação de volume útil de 1,5 L provido de bomba centrífuga submersa da marca Boyu, com vazão nominal de 300 L/h. Na Figura 1 é apresentada a fotografia do sistema.

**Figura 1: Imagem do reator fotocatalítico.**



O trabalho experimental consistiu em ensaios utilizando amostras simples de efluente de lavanderia. A amostragem do efluente industrial foi dividida em duas etapas, que obedeceram às técnicas estabelecidas na NBR 9898:

**1ª Etapa de Amostragem:** foi realizada uma coleta simples do efluente, em que foram coletados seis litros de amostra no dia 23/06/2018 em frascos de material plástico. A amostra foi levada imediatamente ao laboratório

de Saneamento para início das análises. Essa amostra foi utilizada apenas na primeira fase de operação do reator.

**2ª Etapa de Amostragem:** procedeu-se uma nova coleta, realizada no dia 24/08/2018. A amostra foi levada imediatamente ao laboratório e realizou-se uma caracterização inicial do efluente, em que foi verificada que a concentração de LAS na amostra demonstrou-se muito baixa, o que dificultaria a apresentação dos resultados desse trabalho, pois seu principal objetivo é a remoção dessa substância. Diante de tais fatos, optou-se por acrescentar 0,35 g de dodecilbenzenosulfonato de Sódio em 15 L da amostra do efluente, o que resultou em uma concentração final na amostra de 14,06 mg/L de LAS. Nesta etapa, o reator foi operado aplicando os processos de fotólise, bem como a fotocatalise heterogênea tendo como catalisador o dióxido de titânio nas concentrações de 0,03 g/L, 0,1 g/L e 0,8 g/L.

A cada etapa de tratamento, 1,5 L de amostra foram introduzidos no reator, sendo que a cada 30 min foram realizadas coletas e análises dos parâmetros listados na Tabela 1 até que fosse atingido o tempo de tratamento preestabelecido, de 120 min. Os resultados da caracterização dos efluentes brutos referentes a 1ª e 2ª etapas de amostragem estão demonstrados na tabela 1.

**Tabela 1: Caracterização do efluente bruto da 1ª e 2ª etapa de amostragem e suas respectivas técnicas Analíticas. Os códigos dos métodos correspondem à publicação Standard Methods.**

Parâmetros	Técnica analítica	Unidade	Resultados 1ª etapa de amostragem	Resultados 2ª etapa de amostragem
pH	Direto, Potenciométrico	-----	32,08	14,06
Surfactante (LAS)	Método 5540 C	mg/L	6,9	7,32
Cor (aparente)	Método 2120 B	pt CO	155	460
DQO	Método 5220 B	mg/L	298,78	321,14

De acordo com os resultados apresentados na tabela 1, pode-se observar que a concentração de cor da 2ª etapa de amostragem é praticamente três vezes maior do que o resultado da 1ª amostragem. Em virtude disso, houve a necessidade de realizar a filtração das amostras para determinação de LAS para eliminar a interferência de cor e turbidez, nas fases de operação do reator 4 e 5. Para isso, foi utilizado Papel Filtro Quantitativo da marca Unifil.

Visto que não existem referências acerca das dosagens do dióxido de titânio empregadas para remoção de LAS, foram realizados ensaios com diferentes dosagens no intuito de estabelecer as quantidades ideais de concentração do catalisador e os respectivos tempos de ação.

O reator foi operado em cinco fases como mostra na Tabela 2 e todas em bateladas. Entre uma fase e outra, foi realizada a limpeza do reator utilizando água destilada, pois o catalisador foi introduzido em suspensão diretamente no reservatório de recirculação do reator. Assim, a limpeza tornou-se necessária com intuito de evitar que qualquer substância remanescente interferisse nos resultados.

**Tabela 2: Fases de operação do reator**

Fase	Método	Concentração do Catalisador	Etapa de Amostragem
1	<b>Fotocatálise</b>	0,1 g/L	1ª
2	<b>Fotólise</b>	---	2ª
3	<b>Fotocatálise</b>	0,03 g/L	2ª
4	<b>Fotocatálise</b>	0,1 g/L	2ª
5	<b>Fotocatálise</b>	0,8 g/L	2ª

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

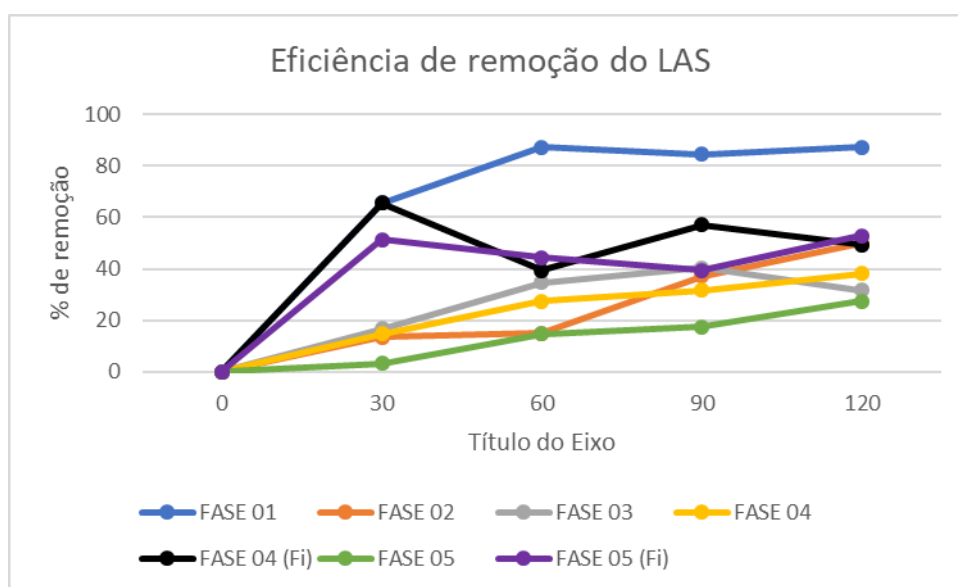
Os resultados serão discutidos pontualmente de acordo com cada processo. Na Tabela 3 são apresentadas as eficiências da remoção de LAS em cada fase de operação do sistema, pode-se observar que nas fases 04 e 05 foram realizadas a filtração das amostras para análise do LAS, tal fato se justifica pelo aumento da concentração de dióxido de titânio empregado nestas etapas, bem como a concentração elevada da cor aparente

na amostra da 2ª etapa que poderiam interferir nos resultados. Por fim a Figura 2 apresenta as curvas de remoção do LAS nas cinco fases de operação do reator e será discutida nos próximos tópicos

**Tabela 3: Resultados da eficiência de remoção do LAS nas cinco fases de operação do reator.**

Fase de Operação	30 min	60 min	90 min	120 min
1	65,5%	87,3%	84,5%	87,4%
2	13,4%	15,1%	37,3%	49,9%
3	16,8%	34,6%	40,3%	31,7%
4	14,7%	27,5%	31,7%	38,1%
4 (Fi)*	65,5%	39,5%	57,1%	49,3%
5	3,3%	14,7%	17,5%	27,5%
5 (Fi)*	51,3%	44,5%	39,5%	52,9%

\* Amostra filtrada.



**Figura 2: Gráfico da eficiência de remoção do LAS nas cinco fases de operação do reator.**

#### PRIMEIRA FASE DE OPERAÇÃO DO REATOR – FOTOCATÁLISE 0,1 g/L TiO<sub>2</sub>

**Tabela 4: Resultados das análises do efluente da 1ª Etapa de Amostragem empregando o processo de fotocatalise utilizando Dióxido de Titânio a concentração de 0,1 g/L.**

Parâmetros	0 (min.)	30 (min.)	60 (min.)	90 (min.)	120 (min.)
LAS (mg/L)	32,08	11,07	4,08	4,98	4,03
pH	6,9	6,75	6,59	6,45	6,19
Cor (aparente) pt CO	155	505	375	305	295
DQO (mg/L)	298,78	245,9	237,43	218,68	218,12

A Tabela 4 apresenta os resultados do primeiro ensaio realizado neste trabalho. Inicialmente realizou-se a caracterização da amostra do efluente da lavanderia. Os dados do efluente bruto são representados na Tabela pelo Tempo 0 min. A escolha da dosagem de 0,1 g/L foi experimental, no intuito de ter um ponto de partida, para que após os resultados iniciais fosse possível observar quais os efeitos do catalisador no meio reacional.

De acordo com resultados apresentados na Figura 02, pode-se observar que após 30 min de tratamento obteve-se uma remoção de mais de 65% do composto e, após 60 min, a eficiência passou de 87%, ou seja, a

concentração estabelecida de 0,1 g/L do catalisador demonstrou-se adequada para as características e concentração do efluente, pois obteve-se uma alta eficiência em pouco tempo de tratamento.

## SEGUNDA FASE DE OPERAÇÃO DO REATOR - FOTÓLISE

**Tabela 5: Resultados das análises do efluente da 2ª Etapa de Amostragem empregando o processo de fotólise.**

Parâmetros	0 (min.)	30 (min.)	60 (min.)	90 (min.)	120 (min.)
LAS (mg/L)	14,06	12,18	11,94	8,82	7,04
pH	7,32	7,25	7,13	7,16	6,94
Cor (aparente) pt CO	460	430	390	380	360
DQO (mg/L)	321,14	308	312,3	304,89	286,95

A Tabela 5 apresenta os dados da remoção do alquilbenzeno sulfonato linear – LAS obtidos durante o processo de fotólise, no decorrer de 120 min.

O desempenho do reator apenas com a Luz UV demonstrou-se eficiente comparado a outros processos de fotólise, alcançando quase 50% de eficiência de remoção do LAS, em 120 min, conforme mostrado na Tabela 3. Comparado com o processo de fotocatalise, a fotólise demonstrou-se mais lenta e menos eficiente, ou seja, requer um tempo de ação maior para a degradação completa do contaminante. De acordo com CARVALHO (2017) a fotólise direta possui baixo rendimento quântico que é justificado pela alta probabilidade de recombinação dos radicais primários, o que pode justificar um processo de degradação mais lento observado nesta etapa. A respeito dos parâmetros Cor e DQO, não foram observadas remoções significativas.

## TERCEIRA FASE DE OPERAÇÃO DO REATOR– FOTOCATÁLISE 0,03 g/L TiO2

**Tabela 6: Resultados das análises do efluente da 2ª Etapa de Amostragem empregando o processo de fotocatalise utilizando Dióxido de Titânio a concentração de 0,03 g/L.**

Parâmetros	0 (min.)	30 (min.)	60 (min.)	90 (min.)	120 (min.)
LAS (mg/L)	14,06	11,7	9,2	8,4	9,6
pH	7,32	7,34	7,26	7,15	7,2
Cor (aparente) pt CO	460	700	750	710	670
DQO (mg/L)	321,14	310,2	301,22	313,5	306,4

De acordo com os dados da Tabela 6 e da Figura 2, pode-se concluir que utilizando a concentração de 0,03 g/L TiO2 não foram alcançados resultados satisfatórios, se comparado com o primeiro experimento realizado. O processo de degradação do LAS ocorreu de forma lenta e atingiu seu máximo de remoção com 90 min, chegando a mais de 40% de eficiência. Contudo, a curva de degradação do LAS foi alterada aos 120 min, em que se observa um aumento da concentração do composto e, como consequência, a redução da eficiência para 31,7%. Esta reação pode ter sido provocada devido a uma fração do LAS não ter sido submetida inicialmente ao processo de oxidação, o que provocou uma elevação do composto após 120 min, em virtude da decomposição tardia do LAS.

## QUARTA FASE DE OPERAÇÃO DO REATOR– FOTOCATÁLISE 0,1 g/L TiO2

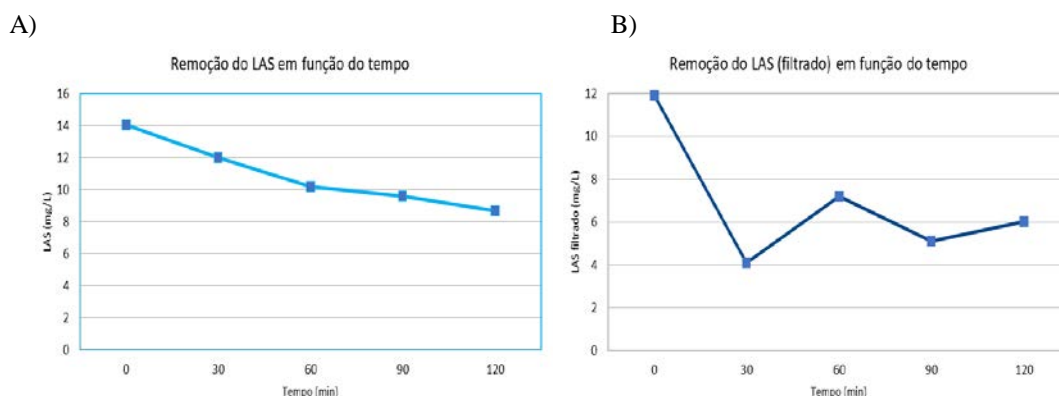
Nesta etapa foi repetida a concentração aplicada na primeira fase de operação do reator, 0,1 g/L TiO2, visto que não foi observada eficiência satisfatória na remoção do LAS empregando uma concentração de 0,03 g/L, deste modo optou-se por aumentar a concentração do catalisador para um valor intermediário, e em contrapartida pode-se realizar também uma comparação dos resultados em amostras com características diferentes.



**Tabela 7: Resultados das análises do efluente da 2ª Etapa de Amostragem empregando o processo de fotocatalise utilizando Dióxido de Titânio a concentração de 0,1 g/L.**

Parâmetros	0 (min.)	30 (min.)	60 (min.)	90 (min.)	120 (min.)
LAS (mg/L)	14,06	12	10,2	9,6	8,7
LAS filtrado (mg/L)	11,9	4,1	7,2	5,1	6,03
pH	7,32	7,34	7,24	7,17	7,12
Cor (aparente) pt CO	460	560	390	480	260
DQO (mg/L)	321,14	373,42	406,89	301,6	298,15

De acordo com os dados da Tabela 7 e da Figura 2, observa-se comportamento totalmente distinto na curva de eficiência do LAS, quando comparado com a primeira fase. Nesta etapa, optou-se por filtrar a amostra do efluente apenas para determinação do LAS, em razão das características do material coletado na segunda amostragem, pois o mesmo apresentou uma concentração elevada de cor aparente (em comparação com a primeira amostragem).



**Figura 3: Comparação das curvas de degradação de LAS correspondentes a amostras filtradas (A) e não filtradas (B).**

A Figura 3 compara as diferenças das curvas de degradação das amostras filtradas e não filtradas do LAS. No gráfico “A”, pode-se observar que a degradação do LAS ocorre lentamente, atingindo 38,1% de eficiência, após 120 min. No gráfico “B”, tem-se os resultados do LAS filtrado, em que se observa que a curva de degradação apresentou resultado diferente de todos os outros experimentos realizados anteriormente. Para explicar a alteração da curva, primeiramente vale destacar que o dióxido de titânio em suspensão pode causar interferências na leitura da curva do LAS no espectrofotômetro, o que explica as diferentes curvas de degradação, demonstradas pelos gráficos na Figura 3.

Outro fator que pode justificar as diferenças dos gráficos “A” e “B”, se refere a amostra ter sido submetida a filtração utilizando Papel Filtro Quantitativo, o que pode ter provocado a retenção de uma fração do LAS a superfície do dióxido de titânio que estava na forma de suspensão na amostra.

De acordo com GÓMEZ e SARRIA (2009) no estudo a respeito da fotodegradação heterogênea de Bisfenol com Dióxido de Titânio, foi observado que no processo de fotocatalise a molécula de Bisfenol foi degradada gerando produtos intermediários, os quais podem causar a inibição à reação de fotocatalise, provocando uma redução na constante de reação após determinado tempo, o que pode ter resultado na diminuição na eficiência de remoção do composto, em razão das novas moléculas provocarem uma competição para os sítios ativos do catalisador, podendo tornar a reação mais lenta.

Assim, tem-se a hipótese de que algo semelhante pode ter ocorrido nesta fase de operação do reator, o LAS (filtrado) foi degradado gerando produtos intermediários, o que poderia justificar as alterações na curva de eficiência de remoção: 65,5%, 39,5%, 57,1% e 49,3% após 30 min, 60 min, 90 min e 120 min, respectivamente.

Na Figura 04, observa-se que a concentração da DQO foi elevada aos 30 min, momento em que ocorreu uma degradação de mais de 70% do LAS, demonstrando que nesta etapa pode ter havido a formação de subprodutos que foram quantificados na leitura da DQO. As substâncias encontradas, após 30 min., possivelmente interferiram na leitura do LAS, em 60 min., as quais proporcionaram aumento da concentração do composto. Aos 90 min., ocorreu um aumento da degradação do LAS e da DQO, e por fim, aos 120 min., o LAS apresentou uma pequena diminuição da eficiência.

Entretanto, para comprovar tais hipóteses, deverão ser realizadas a determinação de outros parâmetros para comprovar de fato se ocorreu a formação de subprodutos ou se ocorreram outras interferências que não foram identificadas neste estudo.

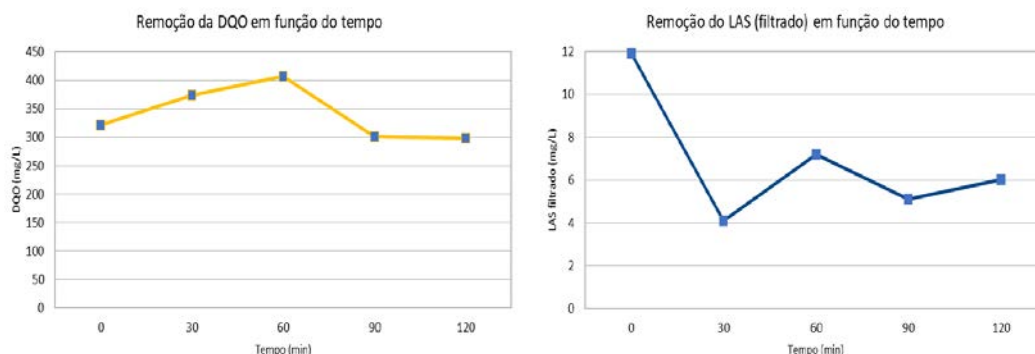


Figura 4: Comparação das curvas de degradação da DQO e do LAS filtrado.

#### QUINTA FASE DE OPERAÇÃO DO REATOR – FOTOCATÁLISE 0,8 g/L TiO<sub>2</sub>

**Tabela 8: Resultados das análises do efluente da 2ª Etapa de Amostragem empregando o processo de fotocatalise utilizando Dióxido de Titânio a concentração de 0,8 g/L.**

Parâmetros	0 (min.)	30 (min.)	60 (min.)	90 (min.)	120 (min.)
LAS (mg/L)	14,06	13,6	12	11,6	10,2
LAS filtrado (mg/L)	11,9	5,8	6,6	7,2	5,6
pH	7,32	7,39	7,18	7,2	7,09
Cor (aparente) pt CO	460	601	378	283	224
DQO (mg/L)	321,14	311,42	292,49	287,5	277,17

Conforme as Tabelas 3 e 8, a eficiência da remoção do LAS utilizando uma concentração bem mais elevada do dióxido de titânio (0,8 g/L) foi praticamente a mesma, em relação a concentração de 0,1g/L TiO<sub>2</sub>. As principais diferenças observadas nos resultados obtidos aplicando a fotocatalise nas concentrações de 0,1g/L e 0,8g/L foi que ao aplicar uma concentração maior do catalisador, a velocidade de degradação do Alquilbenzeno Sulfonato Linear foi mais lenta, em virtude do aumento da turbidez e cor provocadas pelo aumento da dosagem do TiO<sub>2</sub>. A curva de eficiência do LAS filtrado foi de: 51,3%, 44,5%, 39,5% e 52,9% após 30 min, 60 min, 90 min e 120 min, respectivamente.

Outro ponto relevante foi que ao filtrar a amostra do LAS, a eficiência obtida na remoção do contaminante aumentou de 27,5% para 52,9% (LAS filtrado), após 120 min. Tem-se duas hipóteses para justificar a diferença das eficiências das amostras filtradas e não filtradas:

- devido as características do efluente bruto, bem como o aumento da cor da turbidez provocado pelo Dióxido de Titânio em suspensão interferiram na leitura dos resultados do LAS no espectrofotômetro;
- uma fração de LAS pode ter sido adsorvido no TiO<sub>2</sub> e consequentemente ficou retido no filtro de papel após a filtração.

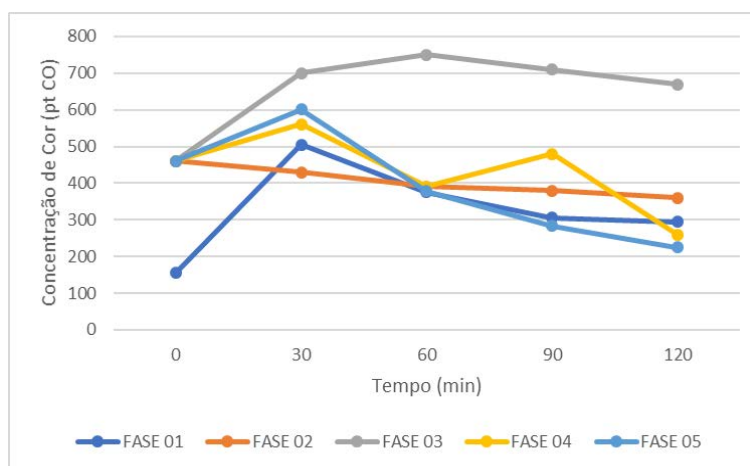
De acordo com GÓMEZ e SARRIA (2009), ao aplicar concentrações mais elevadas do Dióxido de Titânio, há evidências da diminuição da velocidade da reação de degradação do composto, o que indica a diminuição do número de locais ativos no catalisador. Esse processo gera uma disputa entre as moléculas de contaminantes para ocupar um local disponível para realizar a reação. Ou seja, o aumento da concentração do catalisador deve

acontecer até certo ponto, visto que o grande número de partículas em suspensão pode atravancar a degradação do LAS.

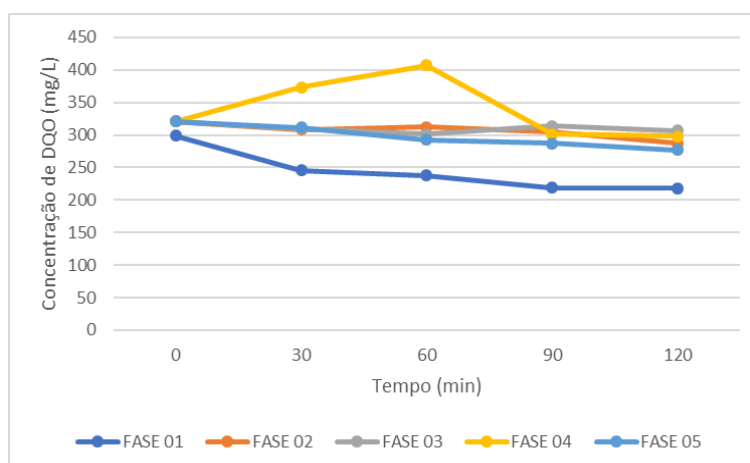
Diante disso, uma das maiores dificuldades deste experimento foi a determinação da concentração ideal do Dióxido de Titânio, visto que há diversas variáveis que podem interferir nos resultados finais da remoção do LAS, tais como: a concentração e o tipo do contaminante, a concentração do catalisador, a intensidade da luz e a concentração de cor da amostra.

## DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DE COR, DQO e pH

Os parâmetros de cor, Demanda Química de Oxigênio e pH tiveram comportamentos semelhantes nas diferentes fases de operação do reator. Nos processos de fotocatalise verificou-se um aumento considerável da concentração de cor aparente nas amostras (Figura 5). Isso é justificado pela adição do dióxido de titânio em forma de uma suspensão que provoca uma alteração/aumento nas concentrações de cor e de turbidez da amostra, devido a sua insolubilidade em água. Além disso, foi observado que concentrações elevadas de cor na amostra de efluente pode diminuir a eficiência do método de fotocatalise heterogênea utilizando o dióxido de titânio, visto que na amostra da Fase 1 de tratamento obteve-se eficiência de 87% na remoção da LAS, enquanto na Fase 4 obteve-se uma eficiência de apenas 49,3%.

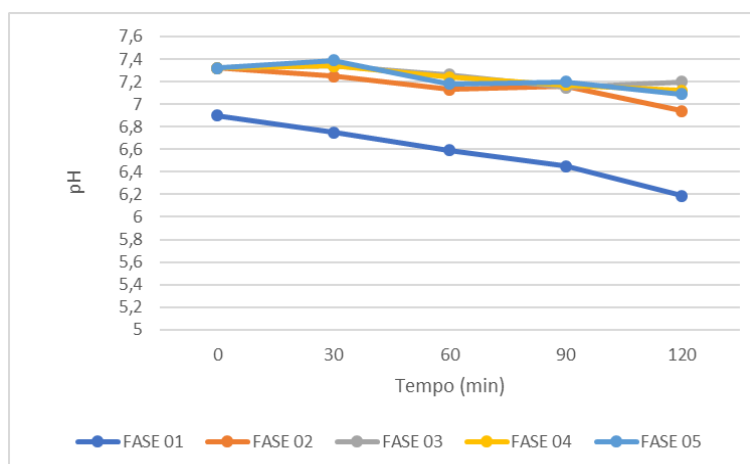


**Figura 5: Comparação dos resultados de cor nas diferentes fases de operação do reator em função do tempo.**



**Figura 6: Comparação dos resultados de DQO nas diferentes fases de operação do reator em função do tempo.**





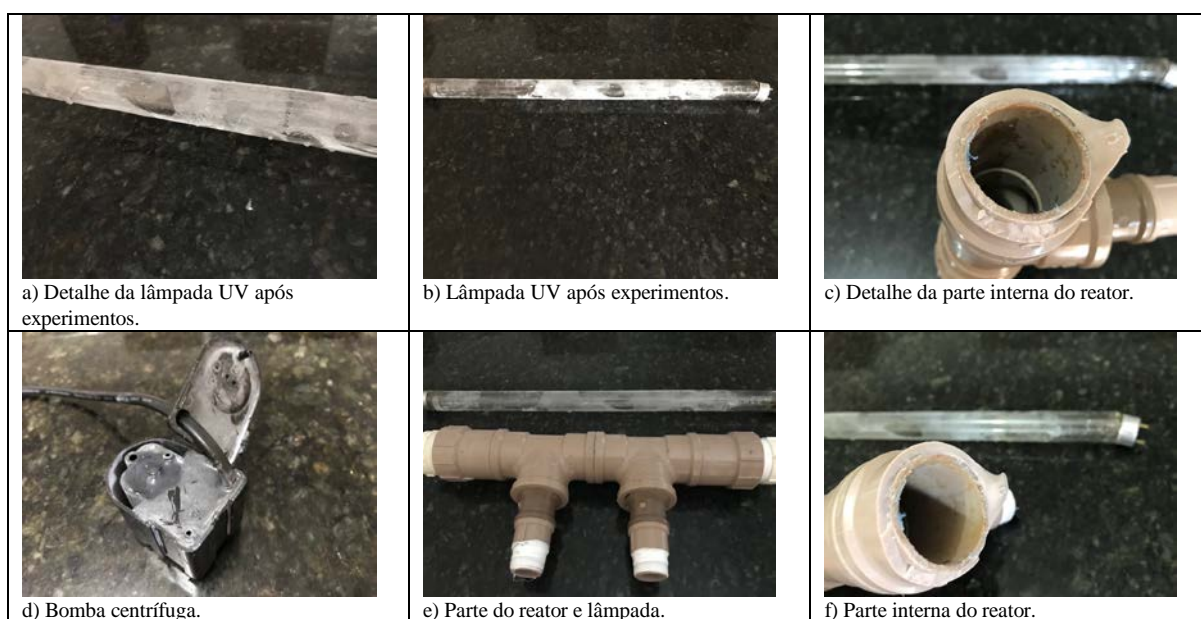
**Figura 7: Comparação dos resultados de DQO nas diferentes fases de operação do reator em função do tempo.**

Ademais, a remoção da DQO foi pouco significativa, conforme dados da Figura 6. A primeira fase de operação do reator apresentou maior eficiência, com remoção de 26,9%, já o processo de fotólise teve apenas 10,6%. Por fim, o pH apresentou praticamente as mesmas alterações nas diferentes fases desse experimento, exceto na primeira. Observou-se que na 1ª fase de operação o pH tende a diminuir a medida em que ocorre a degradação completa do LAS, ao contrário das demais fases de operação do reator em que o pH ficou praticamente estável ao longo dos 120 minutos de experimento.

## DISCUSSÕES FINAIS – REATOR APÓS O EXPERIMENTO

Após a conclusão dos ensaios, o reator foi desmontado para verificar as condições das estruturas e peças após 16 horas de uso. A figura 8 demonstra que o dióxido de titânio se adere a superfície de todas as estruturas integrantes do reator, infere-se que o funcionamento contínuo deste sistema pode acarretar alguns problemas, tais como:

1. diminuição da vida útil das fontes de radiação UV, bem como redução da eficiência do sistema, pois o  $\text{TiO}_2$  se adere a toda superfície da lâmpada, podendo diminuir a passagem da radiação;
2. obstruções no sistema hidráulico bem como desgaste de peças e outros equipamentos;
3. necessidade de implantação de sistemas para limpeza e recuperação do dióxido de titânio.



**Figura 8: Imagens do reator e de seus componentes após 16 horas de uso.**

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, a fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio pode se tornar uma alternativa interessante aos tratamentos convencionais utilizados. Os resultados obtidos da eficiência da remoção do LAS nas etapas 1, 2, 3, 4 e 5 foram de 87,4%, 49,9%, 31,7%, 49,3% e 52,9%, respectivamente.

Durante a operação do reator nas diferentes fases e amostras utilizadas, observou-se que a cor presente no efluente da lavanderia pode ter influenciado diretamente nos resultados de eficiência de remoção do LAS, principalmente nas fases de operação 3, 4 e 5, pois a concentração elevada de cor da 2ª amostragem pode ter consumido os radicais OH, responsáveis pela oxidação fotocatalítica.

A fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio foi mais eficiente como método de remoção do surfactante alquilbenzeno sulfonato linear comparada com a fotólise, exceto na concentração de 0,03 g/L de TiO<sub>2</sub>, o que pode ter acontecido devido ao fato da amostra de LAS nesta fase não ter sido filtrada, alterando, portanto, os resultados.

Entretanto, apesar dos resultados serem satisfatórios, foram identificados alguns problemas que deverão ser estudados detalhadamente. Dessa forma, é sugerido que em trabalhos futuros sejam observados e avaliados efetivamente os problemas causados pela deposição do dióxido de titânio no sistema, bem como as influências da turbidez, cor e corantes nas amostras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FERREIRA, Ivete Vasconcelos Lopes, *Fotocatalise Heterogênea com TiO<sub>2</sub> aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário*. 2005.160f. Dissertação de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2005.
2. CARVALHO, Ricardo Valadão de, *Remoção de Etinilestradiol por meio de ozonização fotocatalítica em reator de leito fluidizado*. 2017.68f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Goiás, 2017.
3. SILVA, Elson Santos da, *Utilização da Fotocatalise Heterogênea no Tratamento de Efluentes Industriais*. 2016.91f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Paraíba, 2016.
4. PENTEADO, J. C. P. SEUD, O. A. E. CARVALHO L. R. F. Alquilbenzeno sulfonato linear: uma abordagem ambiental e analítica. *Química Nova*, São Paulo, vol.29 nº.5 Set./Out. 2006. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422006000500025](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000500025)> Acesso em: 02 novem. 2017.
5. HASSEMER, M. E. N. CORAL, L. A. LAPOLLI, F.R. AMORIM, M.T. Pessoa de: Processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como pós-tratamento para remoção de cor e polimento final em efluentes têxteis. *Química Nova*, Vol. 35, Nº 5, 900-904, Dez.2012. <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/21789?mode=full>> Acesso em 03 novem. 2017.
6. COSTA, M.F.; CARVALHO, B.M.A; OLIVEIRA, A.M.; OLIVEIRA JR, E.N: Biodegradação do surfactante Linear Alquilbenzeno Sulfonato de Sódio utilizando fungos filamentosos. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, vol. 1, nº 2, fev. 2015. <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/biodegradao-do-surfactante-linear-alkuilbenzeno-sulfonato-de-sdio-utilizando-fungos-filamentosos-16774>> Acesso em: 03 novem. 2017.
7. MOLDOVAN, Z.; AVRAM, V.; MARINCAS, O.; PETROV, P.; TERNES, T. (2011) The determination of the linear alkylbenzene sulfonate isomers in water samples by gas-chromatography/massspectrometry. *Journal of Chromatography A*, v. 1218, n. 2, p. 343-349.
8. CAVALCANTE, MARINHO & BARBOSA. Impactos Ambientais do Alquil Benzeno Sulfonato Linear. 2014. <<https://doi.org/10.15628/holos.2014.1247>> Acesso em: 03 de setemb. 2018.
9. APHA (1998). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington.