



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA**

**CAMPUS DE JI-PARANÁ**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**YVES DIAS BRITO**



**TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTES FRIGORÍFICO E TÊXTIL POR  
DIFERENTES PROCESSOS OXIDATIVOS**

Ji-Paraná

2017

**YVES DIAS BRITO**

**TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTES FRIGORÍFICO E TÊXTIL POR  
DIFERENTES PROCESSOS OXIDATIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Me. Alberto Dresch Webler

Co-Orientador: Prof. Me. Marcos Leandro Alves Nunes

Ji-Paraná

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

---

B862t Brito, Yves Dias.

Tratamento terciário de efluentes frigorífico e têxtil por diferentes processos oxidativos / Yves Dias Brito. -- Ji-Paraná, RO, 2017.

55 f.

Orientador(a): Prof. Me. Alberto Dresch Webler

Coorientador(a): Prof. Me. Marcos Leandro Alves Nunes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) -  
Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.radical hidroxila. 2.águas residuais. 3.remoção de contaminantes.  
4.reúso da água. I. Webler, Alberto Dresch. II. Título.

CDU 628.3

---

Bibliotecário(a) Alex Almeida

CRB 11.853



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

CAMPUS DE JI-PARANÁ

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



**TÍTULO:** TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTES FRIGORÍFICO E TÊXTIL POR DIFERENTES PROCESSOS OXIDATIVOS

**AUTOR:** YVES DIAS BRITO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus Ji-Paraná*, no dia 27 de novembro de 2017.

---

Prof. Me. Thiago Emanuel Possmoser F. Nascimento (Membro)  
Faculdades Integradas de Cacoal- UNESC

---

Prof.<sup>a</sup> Me. Margarita Maria Dueñas Orozco (Membro)  
Universidade Federal de Rondônia –UNIR

---

Prof.<sup>a</sup> Me. Alberto Dresch Webler (Orientador)  
Universidade Federal de Rondônia -UNIR

Ji-Paraná, 27 de Novembro de 2017.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Célio e Erinalda, e ao meu irmão Yuri que sempre me apoiaram e incentivaram a seguir em frente mesmo que para isso tivéssemos que morar longe uns dos outros. Dedico a eles por acreditarem nos meus sonhos e ajudarem a realizá-los.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado na realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Rondônia (UNIR) pela oportunidade.

Aos professores do Departamento de Engenharia Ambiental, pelos ensinamentos e dedicação ao seu trabalho.

Especialmente, agradeço ao professor Alberto Dresch Webler pela sua dedicação ao orientar este trabalho, buscando sempre ajudar e ao meu co-orientador professor Marcos Leandro Alves Nunes pelo auxílio na elaboração deste trabalho.

Aos componentes da banca avaliadora, professora Margarita Maria Dueñas Orozco e Thiago Emanuel P. F. Nascimento pela disponibilidade e colaboração com o trabalho.

Agradecimentos também aos professores que cederam espaço para a realização da pesquisa, Elisabete Lourdes do Nascimento, Beatriz Machado Gomes, João Gilberto de Souza Ribeiro, Nara Luisa Reis de Andrade.

Aos técnicos Aurelino Lopes e Gleiciane da Silva pela ajuda nas análises.

Agradeço aos amigos, especialmente Gabriel e Nicolý, pelos quais tenho grande apreço e sempre me ajudaram nas atividades no decorrer do curso e também pela amizade.

Aos companheiros de república: Weliton, Aline e Adrielli, pelos momentos felizes, convivência e amizade que foram muito importantes neste período.

Aos colegas do curso de Engenharia que de alguma maneira auxiliaram na realização deste trabalho.

À minha namorada Avilyn, companheira de todas as horas, que cedeu seu tempo e compreensão durante as horas mais difíceis, sempre colaborando com meu crescimento.

Ao meu avô Severino que me recepcionou e acolheu, sempre incentivando os meus estudos.

A toda minha família.

Aos meus pais, nos quais me espelho pelos ensinamentos e dedicação à minha formação. Por não terem medido esforços para me auxiliar, mesmo que para realizar este sonho, eu tivesse que morar distante.

Ao meu querido irmão e melhor amigo, que desde o início me incentivou e desejou meu sucesso.

## RESUMO

O problema da escassez hídrica no mundo está atrelado à atividade industrial devido à quantidade de água utilizada nos processos produtivos e conseqüentemente seus efluentes gerados com particularidades de cada setor. Torna-se importante o tratamento adequado dos resíduos líquidos, visando à adequação às exigências legais de lançamento ou o reúso do efluente tratado. Dessa forma, o presente trabalho buscou avaliar alternativas de tratamento para efluentes da indústria frigorífica e têxtil. Para isto utilizou-se os processos de UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e ozonização. Os resultados mostraram que a aplicação de ozônio apresentou melhor remoção de cor em ambos efluentes. Os processos envolvendo UV-C e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mostraram que a combinação da radiação com o reagente otimizam o tratamento, visto que o reagente H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> quando utilizado separadamente não removeu cor e que a presença de compostos diluídos podem absorver a radiação diminuindo a eficiência inicialmente. Todos os ensaios foram capazes de adequar o efluente frigorífico à CONAMA 430 que trata de padrões de lançamento de efluentes, porém nem todos removeram formas de nitrogênio a ponto de adequá-los às exigências da CONAMA 357, que classifica os corpos d'água. O reator de ozônio também obteve melhor eficiência energética, removendo maior percentual de cor utilizando menor quantidade de energia. Foi possível observar que a quantidade de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> adicionado pode modificar os resultados, sendo importante o estudo de uma concentração ideal.

**Palavras-chave:** radical hidroxila, águas residuais, remoção de contaminantes, reúso da água.



## ABSTRACT

In the world, the problem of water scarcity is related to industrial activity, due to the amount of water used in the production processes and their effluent, which have different contaminants and particularities for each sector. The proper treatment of the liquid waste is important, aiming the adequacy to the legal requirements of discharge or the reuse of the treated effluent. Thus, the present work evaluated treatment alternatives for effluents from the cattle slaughterhouse and textile industry. To reach these objectives were used UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV-C / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and ozonization processes. The results showed that the ozone application presented better color removal in both effluents under the analyzed experimental conditions. The processes involving UV-C and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> have shown that the combination of the radiation and the reagent optimizes the treatment, whereas the reagent H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> when used separately did not remove color and that the presence of diluted compounds can absorb the radiation reducing the efficiency initially. All the tests were able to adapt the slaughterhouse effluent to CONAMA n° 430, which attend effluent discharge patterns, but not all of them have removed nitrogen forms to suit the requirements of CONAMA n° 357, which classifies water bodies. The ozone reactor also obtained better energy efficiency, removing a higher percentage of color using less energy. It was possible to observe that the amount of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> added can modify the results, being important to study an ideal concentration.

**Keywords:** hydroxyl radical, waste water, contaminant removal, water reuse

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Fluxograma das atividades realizadas em laboratório para o tratamento dos efluentes.....	<b>22</b>
<b>Figura 2</b> - Esquema lâmpada UV-C e bomba peristáltica utilizados nos ensaios. ....	<b>26</b>
<b>Figura 3</b> - Sistema lâmpada UV-C e bomba peristáltica utilizados nos ensaios. ....	<b>27</b>
<b>Figura 4</b> - Sistema de reação ozonizador.....	<b>29</b>
<b>Figura 5</b> - Comportamento da cor do efluente frigorífico pelo tratamento UV-C. ....	<b>30</b>
<b>Figura 6</b> - Comportamento da cor do efluente frigorífico pelo tratamento H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . ....	<b>30</b>
<b>Figura 7</b> - Comportamento da cor do efluente frigorífico e da redução de reagente H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> pelo tratamento UV-C/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . ....	<b>31</b>
<b>Figura 8</b> - Comparação do comportamento da cor do efluente frigorífico pelos tratamentos UV-C, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e UV-C/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . ....	<b>32</b>
<b>Figura 9</b> - Comportamento da cor do efluente frigorífico pelo tratamento O <sub>3</sub> em meio ácido. ....	<b>33</b>
<b>Figura 10</b> - Comportamento da cor do efluente frigorífico pelo tratamento O <sub>3</sub> em meios neutro (a) e básico (b). ....	<b>34</b>
<b>Figura 11</b> - Redução do pH nos ensaios de ozonização. ....	<b>34</b>
<b>Figura 12</b> - Consumo do H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> em função da concentração de Nitrato no ensaio de UV-C/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	<b>36</b>
<b>Figura 13</b> – Varredura de absorção do nitrato. ....	<b>37</b>
<b>Figura 14</b> - Comportamento da cor do efluente de corante pelo tratamento UV-C, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e UV-C/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . ....	<b>38</b>
<b>Figura 15</b> - Comportamento da cor do efluente de corante pelo tratamento O <sub>3</sub> em meio ácido. ....	<b>38</b>
<b>Figura 16</b> - Comportamento da cor do efluente de corante pelo tratamento O <sub>3</sub> em meio neutro. ....	<b>39</b>

<b>Figura 17</b> - Comportamento da cor do efluente de corante pelo tratamento O <sub>3</sub> em meio básico.....	<b>39</b>
<b>Figura 18</b> - Gasto energético para remoção de cor nos tratamentos do efluente frigorífico. ..	<b>42</b>
<b>Figura 19</b> - Gasto energético para remoção de cor nos tratamentos do efluente sintético. ....	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Sistemas típicos de POA's. ....	<b>17</b>
<b>Tabela 2</b> - Atividades para destinação de água de reúso para fins não potáveis. ....	<b>19</b>
<b>Tabela 3</b> -Classificação e padrões de qualidade para reúso da água. ....	<b>20</b>
<b>Tabela 4</b> -Metodologias empregadas nos processos analíticos.....	<b>23</b>
<b>Tabela 5</b> - Comportamento dos nutrientes e carga orgânica em efluente de frigorífico submetido a diferentes tratamentos. ....	<b>35</b>
<b>Tabela 6</b> - Padrões de classificação de água e lançamento de efluentes exigidos pela CONAMA. ....	<b>40</b>

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES</b> .....	14
<b>1.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES</b> .....	15
<b>1.2.1 Processos Oxidativos Avançados (POA)</b> .....	16
<b>1.3 REÚSO DA ÁGUA</b> .....	17
<b>1.3.1 Potencial de reúso de efluentes tratados para fins não potáveis e legislação</b> .	19
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
<b>2.1 MÉTODOS ANALÍTICOS</b> .....	22
<b>2.1.1 pH, temperatura e turbidez</b> .....	23
<b>2.1.2 Nitrito</b> .....	23
<b>2.1.3 Nitrato</b> .....	23
<b>2.1.4 Nitrogênio amoniacal</b> .....	24
<b>2.1.5 DQO</b> .....	24
<b>2.1.6 Cor</b> .....	24
<b>2.1.7 Concentração de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b> .....	25
<b>2.2 ENSAIOS DE TRATABILIDADE</b> .....	25
<b>2.2.1 UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> .....	25
<b>2.2.2 Ozônio (O<sub>3</sub>)</b> .....	27
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
<b>3.1 EFLUENTE FRIGORÍFICO</b> .....	29
<b>3.1.1 Remoção de cor por UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de efluentes frigoríficos</b> .....	29
<b>3.1.2 Remoção de cor por ozonização</b> .....	32
<b>3.1.3 Nitrogênio e DQO</b> .....	35
<b>3.2 EFLUENTE TÊXTIL</b> .....	37
<b>3.2.1 Remoção de cor por UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> .....	37

<b>3.2.2 Remoção de cor por Ozonização .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS VISANDO REÚSO OU DESCARTE .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.1Eficiência energética dos tratamentos .....</b>	<b>41</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>

## INTRODUÇÃO

O crescimento industrial das últimas décadas tem sido um dos importantes fatores que agravam a escassez quantitativa e qualitativa de água, visto que este setor geralmente possui grande demanda hídrica em seus processos produtivos e conseqüentemente produzem expressivo volume de efluente dotado de contaminantes que podem prejudicar o meio ambiente, se não tratado corretamente. Dessa forma, há uma necessidade de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que auxiliem na atenuação dos danos ao ecossistema e também que permitam a reutilização da água visando diminuir a retirada deste recurso em grandes escalas.

Relacionado às características qualitativas da água, estas são degradadas após o uso, sendo ele doméstico ou industrial. O Relatório Mundial das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos da *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* - UNESCO (2017) mostrou que, na América Latina e Caribe, o crescimento populacional e conseqüentemente a expansão dos serviços de abastecimento e saneamento são os principais causadores do aumento da geração de águas residuais. Porém o crescimento populacional acarreta uma maior demanda de produtos, alimentos e bens de consumo, diretamente responsável pelo consumo de água e descarte de efluentes pela indústria.

Uma forma de atenuar a degradação da qualidade dos corpos receptores de efluentes está na melhoria da eficiência do tratamento de efluentes. Tal ação favoreceria a reutilização da água para fins menos nobres, no próprio processo produtivo, como insumo, ou para limpeza de instalações, o que reduziria a escassez hídrica. Este tipo de alternativa torna-se interessante à medida que viabiliza economia de insumos para a indústria .

A indústria têxtil é apontada, segundo A FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FIEMG (2016), como um dos segmentos que mais consome água em seu processo produtivo, estima-se que o gasto é de 150 Litros (L) de água para cada

quilograma (kg) de tecido produzido. Este tipo de produção também acarreta outra problemática que é o uso de grande variedade de produtos químicos e corantes, produzindo efluentes com alta complexidade e elementos recalcitrantes de difícil degradação por sistemas convencionais de tratamento. Castilhos (2015) aponta que, além de prejuízos estéticos, a coloração no efluente pode prejudicar a atividade fotossintética e conseqüentemente aumentar a matéria orgânica no corpo hídrico, o que diminui a concentração de oxigênio dissolvido no meio. Outro prejuízo ao corpo receptor, causado pelo aporte de nutrientes, é o desenvolvimento de bactérias e algas em excesso, que pode acelerar o processo de eutrofização (DEZOTTI, 2008).

O problema da coloração não está presente apenas nas atividades que utilizam corantes, pois o efluente pode adquirir coloração naturalmente de acordo com sua idade, sendo que efluentes mais antigos tendem a ficarem mais escuros, dessa forma outras atividades industriais também apresentam esta, como o efluente frigorífico que é rico em nitrogênio e contém altos valores de DQO (PACHECO, 2006), coloração forte e cheiro desagradável pela presença de sangue e fezes.

Nos casos onde estes efluentes apresentam concentrações de poluentes orgânicos de difícil degradação pelas tecnologias de tratamento biológico se faz necessário o emprego de processos alternativos de degradação ou remoção (CUNHA; SILVA; LEITE, 2014) como os Processos Oxidativos Avançados (POA). Estes processos são baseados na produção de radicais hidroxila, através de processos homogêneos e heterogêneos, com presença ou não de radiação. A eficiência desses processos está ligada ao potencial oxidante desses radicais livres que é maior que o dos outros oxidantes comumente usados, como o cloro, hipoclorito e ozônio, sendo que apenas o flúor apresenta maior capacidade de oxidação (MARCELINO, *et al.* 2013).

Visto isso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de diferentes processos oxidativos (UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>), obtendo suas vantagens e desvantagens para o tratamento de efluentes provenientes de frigorífico e sintético, simulando efluente têxtil, por meio da verificação do potencial poluidor e análise de remoção de matéria orgânica (DQO), nutrientes e cor dos efluentes. Desta forma, comparar a eficiência dos métodos para remoção dos contaminantes e gasto energético, juntamente avaliar a viabilidade de reúso da água, tratada por cada método.



## 1.REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES

Um dos aspectos ambientais intrínsecos à atividade têxtil é a geração de efluentes líquidos. Estes contêm alta coloração e volume de produtos químicos que apresentam potencial de alterar a qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas (SAFT; CALHEIRO, 2014; FIEMG, 2016; RIBEIRO, 2016). O processo de lavagem de jeans, nesse contexto, realizado em escala industrial consome aproximadamente 40 litros de água por peça (PORTO; SCHOENHALS, 2013; COUTINHOR et al., 2017).

Além do volume gerado, tais águas residuais contêm uma diversidade de compostos como tensoativos, amaciantes, alvejantes, dentre outros. Desta forma, o efluente gerado apresenta carga orgânica, coloração, baixa tensão superficial, e quantidade considerável de sólidos suspensos, alcalinidade e óleos e graxas (FEITOSA; BERWANGER; HILGEMANN, 2015; BUSS et al., 2015). Entre as principais dificuldades encontradas no tratamento deste efluente está a falta de conhecimento sobre suas características, além disso Souza, Souza e Pereira (2014a) apontam que os efluentes gerados pela indústria têxtil apresentam composição extremamente heterogênea e uma grande quantidade de material tóxico e recalcitrante, o que torna seu tratamento mais difícil.

Assim, a coloração em efluentes, além de afetar negativamente a estética do corpo hídrico, favorece a obstrução da passagem de luz, prejudicando a fotossíntese e reduzindo a capacidade de solubilização de gases na água, inclusive o oxigênio, aumentando assim a presença de substâncias orgânicas dissolvidas (JÚNIOR, 2010; TREVIZANI, 2015; CASTILHOS, 2015; KHANDEGAR; SAROHA, 2013), por consequência a remoção de cor pode ser mais relevante que de matéria orgânica mensurada em DQO causada pelos corantes (KHANDEGAR; SAROHA, 2013)

Outros tipos de indústrias também podem apresentar complicações ao ambiente devido à coloração natural na água residual, como o efluente frigorífico. Este efluente possui também alta carga orgânica e concentração de nutrientes como nitrogênio (PACHECO, 2006). Além da utilização de corantes e da característica natural, a coloração em efluentes está ligado à idade do resíduo, Castilhos (2015) traz que efluentes novos apresentam uma cor clara, cinza acastanhada e, com o tempo há um aumento da concentração e de condições anaeróbias e a cor se torna cinza escuro a preto.

## 1.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Para Tavares (2017), o tipo de atividade desenvolvida influencia diretamente no tipo de efluente gerado e, conseqüentemente, no seu tipo de tratamento. Porém, independente da sua qualidade, as águas residuais podem ser tratadas a ponto de atender as exigências de lançamento, evitando a contaminação de reservatórios e elevação do custo em estações de tratamento de água destinadas ao atendimento da população em geral (QUEIROZ et al.,2016).Visto isso, tornam se fatores limitantes o custo de tratamento e manutenção de um sistema de tratamento de efluentes (TONES, 2015).

Em geral, na indústria os processos de tratamento estão fundamentados em sistemas físico-químicos de precipitação-coagulação seguidos de processos biológicos de lodos ativados que precedem os tratamentos químicos (ALMEIDA, 2013). Külzer e Rodrigues (2016) elucidam que os tratamentos de efluentes contendo pigmentos são na maioria voltados para métodos físicos-químicos como adsorção, agregação por coagulação-floculação e processos oxidativos. Pereira (2011) ressalta que a alta complexidade e a baixa biodegradabilidade fazem com que os tratamentos convencionais de efluentes, como o tratamento biológico, sejam ineficazes para sua degradação.

Dessa forma Zagonel, Buss e Menezes (2015) avaliaram a eficiência de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de processo físico-químico, composta por decantadores, filtros e recirculação de lodo, implantada em uma lavanderia industrial que apresentou remoção de DBO menor que 40%. Gonçalves (2015) ao avaliar um efluente de lavanderia industrial, processos de eletrofoculação/eletrocoagulação/eletroflotação e Flotação por Ar Dissolvido (FAD) com diferentes coagulantes e alcançou remoção de até 75,2% de DQO, não adequando-se à norma apenas no quesito cor aparente por FAD com semente de moringa. Souza, Souza e Pereira (2014b) encontraram remoção de 15-39% de matéria orgânica, 56-87% de cor e 90-95% de turbidez de efluente de lavanderia têxtil, utilizando processo físico por coagulação.

Os investimentos no tratamento das águas residuais são justificados não apenas em termos de benefícios ambientais e de saúde, mas também devido a seus impactos positivos no desenvolvimento socioeconômico (UNESCO, 2017). Assim, os resíduos gerados durante o processo industrial devem seguir os valores de referência presentes na legislação pertinente antes de sua destinação final, (FERREIRA, 2016) e também não modificar as características do corpo receptor.

No Brasil, tem-se como norma regulamentadora a Resolução nº 357 de 2005 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e, mais recente, a Resolução nº430 de 2011 que altera e complementa a anterior. Essa Resolução estabelece que os efluentes só poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após devido tratamento. Estas resoluções autorizam o órgão ambiental competente a acrescentar outras condições e padrões aos apresentados nestas resoluções, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais.

### 1.2.1 Processos Oxidativos Avançados (POA)

A remoção da cor dos efluentes é uma grande dificuldade das indústrias têxteis. Algumas técnicas são eficientes na remoção de poluentes, como a radiação UV que pode ser utilizada como processos fotoquímicos ou fotocatalíticos, da mesma forma alguns oxidantes químicos podem agir diretamente ou em processos combinados, como o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (ALBUQUERQUE, 2016).

Assim, os processos oxidativos e Processos Oxidativos Avançados (POA's) são alternativas tecnológicas eficientes para eliminar substâncias orgânicas de difícil degradação (DEZZOTI, 2008). Estes processos têm sido aplicados com êxito para a degradação de poluentes recalcitrantes. Também são empregados em águas residuais e efluentes industriais para remoção de farmacos, pesticidas e corantes, entre outros (ARAÚJO et al., 2014).

Dentre os processos de oxidação, o ozônio ( $O_3$ ) é um dos utilizados, sendo caracterizado por um gás incolor, capaz de reagir com ampla classe desses compostos. Souza (2016) esclarece que este gás pode reagir na forma molecular, em pH ácido ou formando radicais hidroxila ( $OH\bullet$ ) em pH básico, tornando-se assim um POA. Além disso, em pH neutro pode reagir de ambas as formas e ser obtido através de descarga elétrica, eletrólise e radiação química.

Os POA's apresentam em comum a participação do radical hidroxila ( $OH\bullet$ ) no mecanismo de reação, sendo este altamente reativo, não seletivo e capaz de oxidar e decompor várias espécies tóxicas e/ou recalcitrantes, o que configura um importante ponto no tratamento de resíduos (SOUZA, 2010; BRITO; SILVA, 2012; MARCELINO et al., 2013; ARAÚJO et al., 2014; CARVALHO, 2016). O potencial de oxidação do radical  $OH\bullet$  é maior que o dos outros oxidantes comumente usados, como cloro, hipoclorito e o ozônio, e apenas o flúor apresenta maior capacidade de oxidação (MARCELINO, et al. 2013). Assim, esses processos alcançam a mineralização dos compostos a  $CO_2$ , água e minerais (VERLICCHI;

AUKIDY; ZAMBELLO, 2015). Araújo et al. (2014) notam que a principal restrição da aplicação industrial dos POA's está no custo das fontes de energia como, radiação ultravioleta (UV) e reagente (peróxido de hidrogênio e ozônio).

A versatilidade dos POA's está no fato de os radicais hidroxila poderem ser gerados a partir de diferentes caminhos (MARCELINO, *et al.*2013) como mostra a Tabela 1. Os mais comuns são o reagente de Fenton, que pode ser ainda irradiado ou eletrizado (Foto-Fenton e Eletro-Fenton), a ozonização (que pode ser combinada com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, radiação UV e catalisadores), a fotocatalise heterogênea (com TiO<sub>2</sub> ou outros semicondutores) com UV ou luz solar e a peroxidação (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que pode ser também irradiada (SOUZA, 2010; MARCELINO, *et al.*2013;SOUZA, 2016).

**Tabela 1** - Sistemas típicos de POA's.

Processos	Homogêneos	Heterogêneos
Com irradiação	O <sub>3</sub> /UV H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV O <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV Foto-Fenton	Fotocatalise Heterogênea(TiO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> /UV)
Sem irradiação	O <sub>3</sub> /HO <sup>•</sup> O <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Fenton	O <sub>3</sub> / Catalisador

Fonte: Adaptado de Souza (2010).

### 1.3 REÚSO DA ÁGUA

Com o desenvolvimento da sociedade, compreensão dos problemas dos poluentes nos corpos hídricos, e com a crescente demanda por água de qualidade, a legislação ambiental tem ficado mais rigorosa. Assim também, o descarte de efluentes com controle cada vez mais rígido (BUSS et al., 2015) com o intuito de impedir a contaminação de fontes de água de boa qualidade. Consonante a isso, cresce a necessidade do reúso de efluentes nas indústrias e comércios, dessa forma, consideráveis volumes de água potável podem ser poupados pelo reúso quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir desse recurso dentro dos padrões de potabilidade (VASCONCELOS; GOMES, 2009).

A escassez quantitativa e qualitativa da água em algumas bacias urbanas levou à discussão pela valorização desse recurso em alguns estados e visou suscitar o uso racional dos recursos hídricos. Essa iniciativa que objetiva mediar conflitos pelo uso da água culminou

com a promulgação da Lei nº 9.433/1997 (CRUZ, 2015). Mierzwa e Hespanhol (2005) relatam que até a década de 90 a água utilizada nas indústrias era um insumo pouco significativo e os conceitos de outorga e cobrança ainda conotavam apenas propostas de controle e comando, vindo a ser posteriormente um instrumento de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) instituída pela lei nº 9.433 que, devido à nova possibilidade de cobrança, resultou na mudança de postura para o uso racional deste recurso. Com o intuito de efetivar a gestão pretendida na Lei nº 9.433, o planejamento integrado dos recursos hídricos é uma ferramenta que promove o desenvolvimento e maximizam a economia e o bem-estar social de forma sustentável (MANCUSO et al, 2003; METCALF & EDDY, 2007).

Visando a gestão correta dos recursos hídricos, a reutilização de águas provenientes de atividades antrópicas é uma das ferramentas a serem empregadas na redução da contaminação e utilização de água. Desta forma, água de reúso corresponde ao produto obtido de um tratamento dos esgotos gerados pelos imóveis, sendo este produto um tema de enorme importância nos dias atuais, pois contribui para a geração e para a redução de custos (CALDA; SAMUDIO, 2016). O reúso da água não é uma discussão recente, a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1973) já tratava de definições como: reúso direto, quando a água residual tratada é utilizada diretamente, geralmente na agricultura, reúso indireto, quando é primeiramente despejado em um corpo hídrico para ser diluído, e reciclagem, sendo utilizada na própria indústria, objetivando a economia de água. Vale ressaltar que conforme estabelece a resolução CONAMA 430/2011, a diluição de água residual com água de melhor qualidade para o posterior lançamento é vedado.

De maneira geral, o reúso da água pode ocorrer de forma planejada ou não, sendo para fins potáveis e não potáveis (ESTENDER; PINHEIRO, 2015) sendo este último previsto na resolução nº 54/2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), abrangendo as atividades da Tabela 2.

**Tabela 2** - Atividades para destinação de água de reúso para fins não potáveis.

<b>Destinação</b>	<b>Atividades usuais</b>
<b>Fins urbanos</b>	Irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana
<b>Fins agrícolas e florestais</b>	Produção agrícola e cultivo de florestas plantadas
<b>Fins ambientais</b>	Implantação de projetos de recuperação do meio ambiente
<b>Fins industriais</b>	Processos, atividades e operações industriais
<b>Aquicultura</b>	Criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos

Fonte: resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional Recursos Hídricos.

### 1.3.1 Potencial de reúso de efluentes tratados para fins não potáveis e legislação

No Brasil, 60% da água extraída dos mananciais é utilizada na agricultura, 17% para fins indústrias e 23% para usos urbanos, totalizando 74,8 km<sup>3</sup>/ano (AQUASTAT, 2016). Desta forma, esses dados reforçam o grande potencial da prática de reúso de água na agricultura no país. Em outros países, a reutilização da água na agricultura proporciona um ganho econômico e ambiental, através da redução do consumo da água de qualidade superior e insumos agrícolas como fertilizantes (FEITOSA, 2016). Apesar das normas sanitárias raramente serem respeitadas ocasionando problemas de poluição e contaminação ambiental com o descarte indevido de efluentes, existem casos do reúso bem-sucedido de águas residuais urbanas para a irrigação, como na Argentina, na Bolívia, no Chile, no México e no Peru (UNESCO, 2017).

Visto a deficiência na legislação, a primeira regulamentação brasileira que apresentou parâmetros para reúso de água foi a norma técnica NBR-13.969 de 1997 que classifica águas de reúso e determina padrões para algumas atividades (Tabela 3), além de prever o reúso como alternativa para minimizar o problema de escassez hídrica. Além desta, a Resolução 54/2005 do CNRH que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências e a NBR-15.527 de 2007 fornece os requisitos para aproveitamento de água de chuva visando fins não potáveis e também a resolução CONAMA 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água

e padrões de qualidade para água de contato primário, secundário e consumo humano. Alguns trabalhos avaliam o potencial de reúso e políticas públicas estaduais (ROLLEMBERG; SOBRAL, 2016; SOUZA; RIBEIRO, 2016; ARAÚJO; SANTOS; SOUZA, 2017).

**Tabela 3-**Classificação e padrões de qualidade para reúso da água.

<b>Classe de água de reúso</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Padrões de qualidade</b>
<b>Classe 1</b>	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário	Turbidez < 5 Ut Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100 mL Sólidos Dissolvidos Totais < 200 mg/L pH entre 6 e 8 Cloro residual entre 0,5 mg/L a 1,5 mg/L
<b>Classe 2</b>	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez < 5 uT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL Cloro residual superior a 0,5 mg/L
<b>Classe 3</b>	Descargas em vasos sanitários.	Turbidez < 10 uT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL
<b>Classe 4</b>	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagem para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Coliformes Termotolerantes < 5000 NMP/100 mL Oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L.

**Fonte:** Adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)- NBR 13969 de 1997.

Oliveira e Madeira (2014) avaliaram a viabilidade de reúso em efluente doméstico, tratado por processo biológico, seguido de coagulação/floculação, e encontraram resultados satisfatórios para reúso de Classe 1 (NBR 13969), apontando apenas cloração para adequar turbidez. Em estudo comparativo do uso de água de abastecimento e do efluente de uma indústria de estamperia digital, tratado por processos físico-químicos e fotocatalítico, foram encontrados resultados similares na remoção de cor do acima de 85% (BARROS ,2016; BARROS et al., 2016).

Subtil et al. (2016) encontraram um potencial de reciclagem de 40-70% da água utilizada na lavagem de caminhões utilizando Contator Biológico Rotativo (CBR) para adequação do efluente, sendo necessário água de abastecimento para otimizar o potencial. Amar et al. (2009) analisaram os resultados obtidos do pós-tratamento de água residual de indústria têxtil por nanofiltração e osmose reversa, e observaram que o efluente do tratamento poderia ser utilizado no processo de irrigação de acordo com a norma tunisiana NT 106.03

(INSTITUT NATIONAL DE LA NORMALISATION ET DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE- INNORPI, 1989).

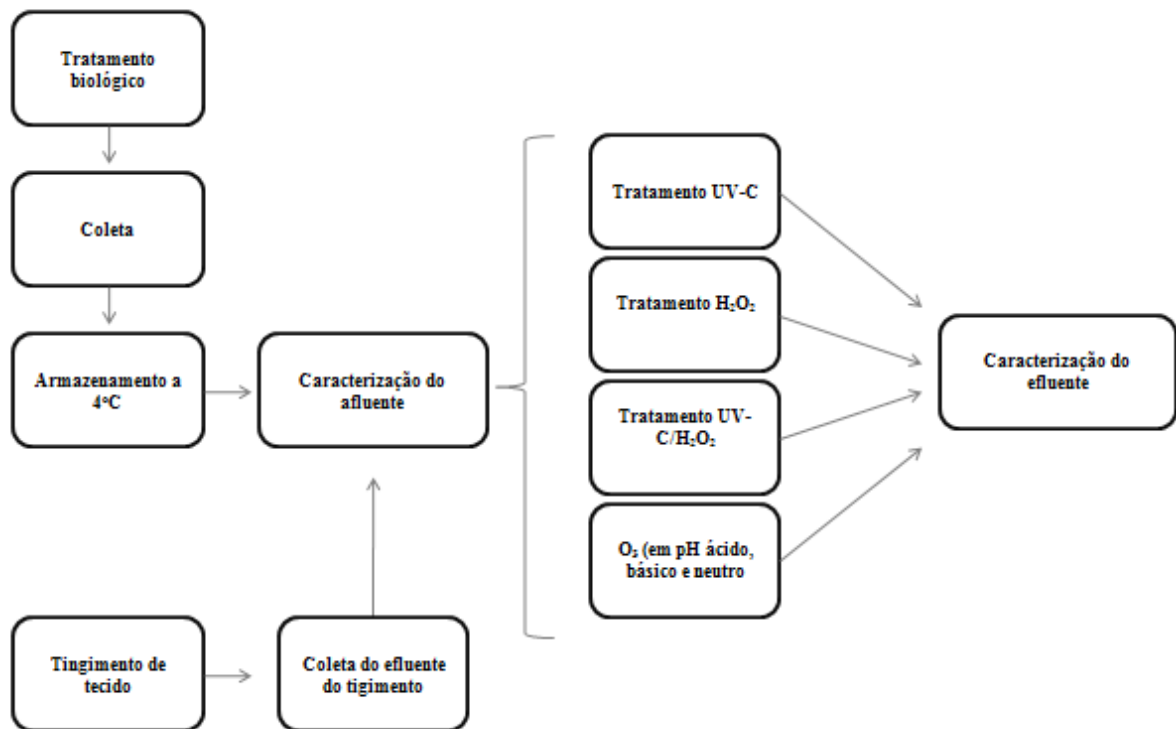
Além disto, Porto e Schoenhals (2013), após acompanhar processos de reutilização de água em lavanderias, concluíram que a prática de reúso é útil para a indústria. Devido ao benefício gerado à própria empresa e ao meio ambiente, evidenciando os benefícios e aplicabilidades do reúso da água quanto à economia aplicada na redução de insumo e menor geração de efluente, o qual pode acarretar danos ecológicos, se lançado em grandes quantidades nos corpos hídricos. Dessa forma, para que os impactos ambientais sejam minimizados, deve-se considerar o conceito de produção mais limpa, citado por Queiroz et al. (2016), vista como uma ferramenta de gestão ambiental direcionada aos ganhos no processos produtivo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Todas as análises e procedimentos empregados para realização desse estudo foram realizados nos Laboratórios de Saneamento (SANEAM), Limnologia e Microbiologia Ambiental e Hidrogeoquímica do Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, *Campus* de Ji-Paraná.

O efluente proveniente do frigorífico foi coletado após passar por tratamento biológico por processos anóxico-anaeróbio com retorno de lodo e, posteriormente, armazenado em freezer até o tratamento pelos processos físico-químicos. De forma diferente, o efluente têxtil sintético foi produzido a partir do tingimento artesanal de algumas peças de tecido, seguindo as recomendações do rótulo do corante. Foram utilizados os corantes nas cores azul e preto, da fabricante Guarany, modelo Tingecor com faixa de concentração de 70 a 100%, sendo este corante não classificado Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) da NBR 14725-2, tendo em vista a preservação do direito ao segredo industrial. Os procedimentos descritos foram organizados no fluxograma abaixo (Figura 1).





**Figura 1** - Fluxograma das atividades realizadas em laboratório para o tratamento dos efluentes.

## 2.1 MÉTODOS ANALÍTICOS

A Tabela 4 apresenta, resumidamente, a metodologia empregada nas análises das variáveis estudadas. As amostras foram diluídas conforme a curva de calibração para a leitura espectrofotométrica, utilizando-se espectrofotômetro de emissão de ondas visíveis modelo BEL-VM5, e depois o resultado da leitura foi multiplicado pelo fator de diluição para correção dos valores.

**Tabela 4-**Metodologias empregadas nos processos analíticos.

Variáveis	Metodologia	Referência
<b>pH</b>	Método do potenciômetro (Modelo do equipamento HANNA 3512)	
<b>Temperatura</b>	Aparelho medidor (HANNA 3512)	
<b>Turbidez</b>	Turbidímetro (HACH 2100P)	
<b>Nitrito</b>	Método da Sufanilamida e N-naftil	(APHA, 1995)
<b>Nitrato</b>	Método da Brucina	(APHA, 2005)
<b>Amônia</b>	Nesslerização	(APHA, 2005)
<b>DQO</b>	Método colorimétrico	(APHA, 2005)
<b>Cor</b>	Método espectrofotométrico	(APHA, 2005)
	DFZ	(KAMMRADT, 2004)
<b>Peróxido de Hidrogênio</b>	Método do metavanadato	(NOGUEIRA; OLIVEIRA; PATERLINI, 2005)

### 2.1.1 pH, temperatura e turbidez

Foi determinado o pH das amostras pelo método potenciômetro em um medidor de pH, previamente calibrado com soluções tampão de pH igual a 4, 7 e 10 e a temperatura foi medida por sonda específica ,ambos da marca HANNA, modelo HI 3512. A turbidez foi medida por aparelho turbidímetro HACH 2100P.

### 2.1.2 Nitrito

As amostras foram diluídas de acordo com a curva de calibração, construída para o intervalo de concentrações 0,05 a 0,5 mg/L de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (Nitrogênio na forma de nitrito) As amostras foram preparadas com a adição do reagente sulfanilamida em proporção de 25 ml de amostra para 0,5 ml do reagente, seguido da sua homogeneização da solução e reservada por 2 minutos. Após esse tempo, adicionou-se 0,5ml de solução de N-Naftil-etilenodiamina, agitou-se e aguardou-se 10 minutos. Finalizadas essas etapas, a solução foi lida no espectrofotômetro a 543nm.

### 2.1.3 Nitrato

Este método consiste na reação do íon NO<sub>3</sub><sup>-</sup> com o reagente brucina em meio ácido, resultando em uma coloração amarelada. Em seguida, as concentrações de nitrato são

determinadas por espectrofotometria a 410 nm , sendo diluída a amostra para que se adeque à curva de calibração que expressa concentrações entre 1 a 50 mg/L de NO<sub>3</sub>. Para leitura em espectrofotômetro é preciso, primeiramente, preparar a amostra com adição, na proporção de 5ml de amostra para 1ml de brucina e 10ml de solução de ácido sulfúrico (500 de água/ 75 de ácido sulfúrico 98%). Após reagir por 10 minutos no escuro, juntou-se 10ml de água destilada e novamente reage no escuro por 20 minutos para então ser lida a absorvância.

#### **2.1.4 Nitrogênio amoniacal**

Conforme descrito em APHA (2005), as amostras foram diluídas de acordo com a curva de calibração. Antes da leitura das amostras no espectrofotômetro, em comprimento de onda de 425 nm, estas foram preparadas com a adição do reagente Nessler, em uma proporção de 5 ml de amostra para 0,1ml do reagente, sendo homogeneizada em seguida.

#### **2.1.5 DQO**

A DQO foi determinada conforme a metodologia descrita no AWWA (APHA, 2005) denominada método colorimétrico – 5220B. As amostras foram, primeiramente, digeridas em solução digestora, contendo dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e sulfato de mercúrio (Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), e solução catalítica composta de sulfato de prata (Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e então colocadas em um termo-digestor de DQO a uma temperatura de 150°C e por um período de 2h. Transcorrido este período e com as amostras em temperatura ambiente foi mensurada a sua absorvância, a 420 e 600nm, em um espectrofotômetro.

#### **2.1.6 Cor**

Foi mensurada a cor de acordo com o método padrão Platinum-Cobalt (PTCO), seção 2120 C descrito no APHA (2005), que se baseia na medida de absorvância de uma solução e sua correlação com a absorvância de uma solução padrão de platina e cobalto. Para este método, a leitura da cor é feita a 400nm.

Uma segunda metodologia foi utilizada para determinação da cor, sendo empregado o coeficiente DFZ, descrito na norma Alemã DIN EMISO 7887:1994(KAMMRADT, 2004). Especificamente, o método consiste na leitura das amostras em quatro comprimentos de onda

distintos, cada um para expressar uma coloração, sendo 436 nm para amarelo, 525 nm para vermelho e 620 nm para o azul.

A determinação do coeficiente DFZ é dada através da relação Absorbância/ caminho óptico em metros (espessura da cubeta). Neste estudo foi utilizado cubetas de 10 mm (0,010m) de espessura.

### **2.1.7 Concentração de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)**

Durante a realização dos ensaios com pesença de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi realizada a avaliação da sua concentração utilizando o método com base na reação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> com metavanadato de amônio em meio ácido, o que resulta na formação de uma cor vermelho-alaranjado, com um máximo de absorbância a 450 nm (NOGUEIRA; OLIVEIRA; PATERLINI, 2005).

## **2.2 ENSAIOS DE TRATABILIADE**

Os ensaios de tratabilidade foram feitos em escala laboratorialde forma que pudessem ser retiradas alíquotas no transcorrer do tratamento, nos intervalos de tempo definidos de: 0, 5,10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos, sendo que os ensaios de ozonização para efluente frigorífico seguiram os mesmos intervalos, porém somente até 60 minutos, devido à rápida remoção de cor. As amostras retiradas seguiram para a caracterização das variáveis de qualidade.

Após os tratamentos foram calculados os gastos energéticos de cada aparelho utilizado, e para tanto, utilizou-se a potência informada pelo fabricante . Assim, foram feitos as análises da energia necessária para alcançar a remoção da cor atingida pelo processo. A equação 1 apresenta o cálculo da potência requerida.

$$P_r = P_a \cdot V^{-1} \cdot T^{-1} \quad (1)$$

Onde:

P<sub>r</sub>: Potência requerida em Watts;

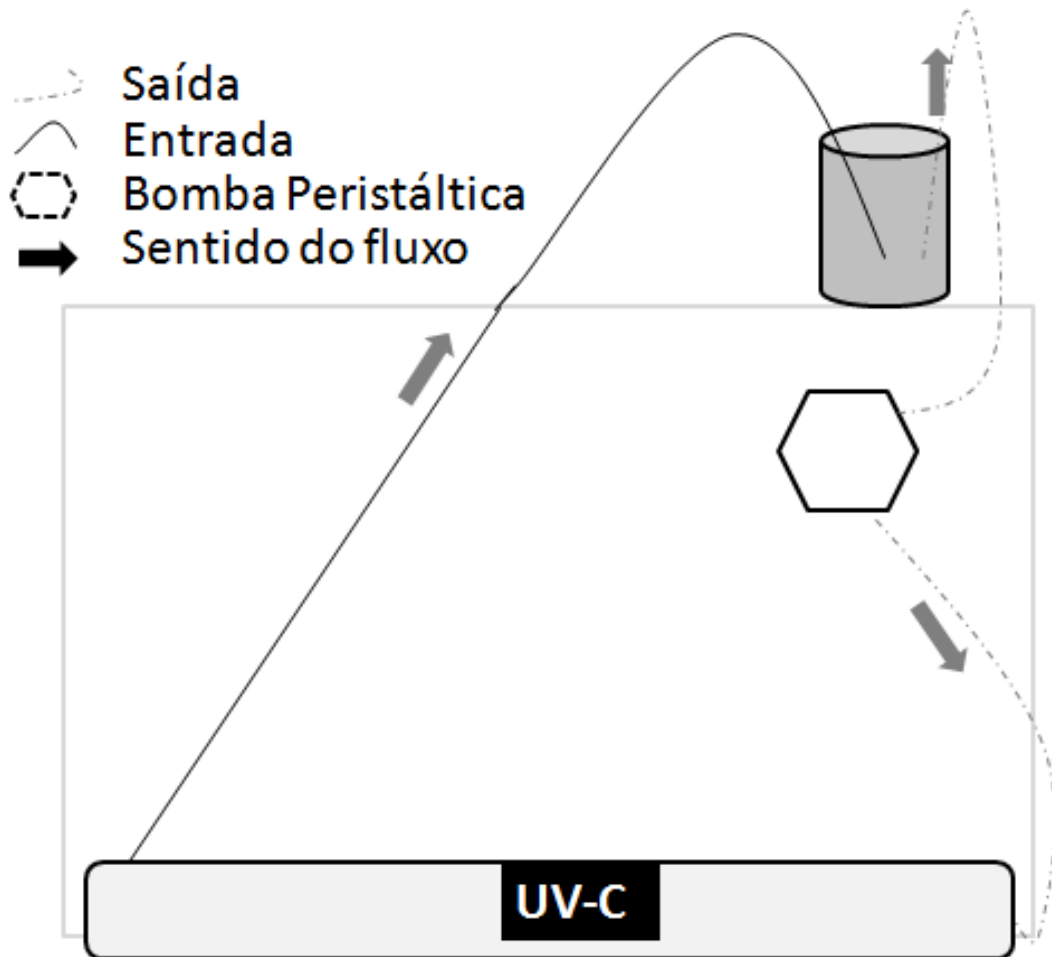
P<sub>a</sub>: Potência do aparelho em Watts;

V: Volume de efluente utilizado em litros;

T: Tempo de reação em horas.

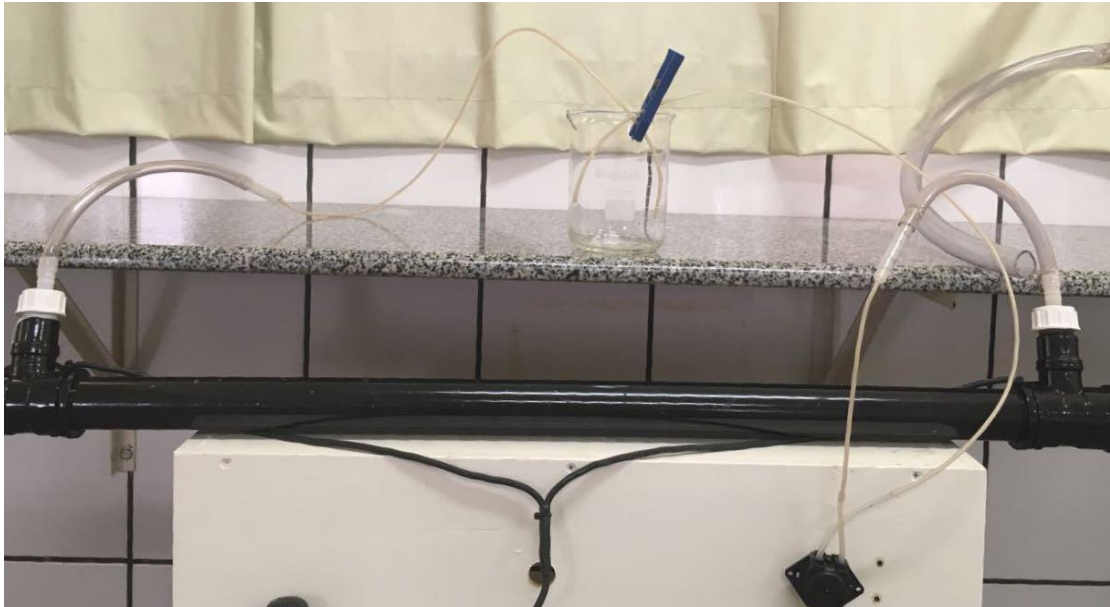
### **2.2.1 UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

Os ensaios que utilizaram UV-C foram realizados a partir da radiação emanada de uma lâmpada de 60 W (AquaUV- Cristal ,Clean Jump). Para manter todo o volume de efluente exposto à mesma intensidade de radiação, este foi circulado com auxílio de uma bomba peristáltica com vazão de  $6,12 \text{ L.h}^{-1}$  ( $0,0017 \text{ L.s}^{-1}$ ), passando pequenos volumes de esgoto pela zona de liberação de radiação (Figura 2).



**Figura 2-** Esquema lâmpada UV-C e bomba peristáltica utilizados nos ensaios.

Para o tratamento com UV-C e a adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , adicionou-se uma solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  com concentração de  $595 \text{ g.l}^{-1}$  de modo que a concentração de 200ppm fosse obtida no efluente, este sistema foi mantido em constante circulação. Em todos os processos utilizando radiação foi necessário haver o cuidado de manter o reservatório com o efluente em uma altura piezométrica acima da fonte de UV-C. Na Figura 3 é evidenciado o sistema formado pelo reator, bomba e lâmpada de radiação UV-C.



**Figura 3** - Sistema lâmpada UV-C e bomba peristáltica utilizados nos ensaios.

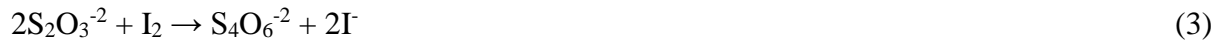
Nos ensaios de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , bem como UV-C/ $\text{H}_2\text{O}_2$  foi monitorado, em cada intervalo de tempo, o consumo de peróxido de hidrogênio através do método descrito no item 2.1.6.

### 2.2.2 Ozônio ( $\text{O}_3$ )

Para este ensaio foi utilizado gerador de ozônio da marca Vigor modelo A81 com capacidade de geração, conforme o fabricante, de  $200 \text{ mg.h}^{-1}$  com ar atmosférico, porém foi realizada a verificação da produção, medida através do borbulhamento direto de ozônio em uma solução de iodeto de potássio (KI) 2% por 2 minutos. A reação para a determinação quantitativa de ozônio consiste na liberação do iodo ( $\text{I}_2$ ) na solução de iodeto de potássio e o elemento ativo é o oxigênio atômico liberado pela molécula de ozônio, que se reverte em oxigênio molecular. A reação de oxidação de iodeto de potássio pelo ozônio é dada pela Equação 2.



É necessário reduzir o pH abaixo de 2 para garantir o deslocamento da reação para a produção de  $\text{I}_2$ , desta forma foi utilizado 10mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2N, assim realiza-se a titulação com tiosulfato de sódio,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$  padronizada a 0,1N. A reação de oxidação dos íons tiosulfato pelo iodo produz o tetrionato conforme (APHA, 2005), dada pela Equação 3.



Para determinar a massa de  $\text{O}_3$  em mg, calcula-se a partir da Equação 4.

$$\text{O}_3 = \text{V.N.24} \quad (4)$$

Onde:

V é a média do volume titulado em ml

N é a normalidade do tiosulfato de sódio em  $\text{mg.mEq}^{-1}$

Como mencionado anteriormente, o ozônio pode agir de três formas no tratamento de efluentes, de acordo com seu pH SOUZA(2016). Desta forma, o pH da amostra foi ajustado para valores ácido ( $\text{pH}=3$ ), neutro ( $\text{pH}=7$ ) e básico ( $\text{pH}=10$ ) com adição de uma solução de Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) para acidificar da amostra e utilizado uma solução de Hidróxido de Sódio ( $\text{NaOH}$ ) para alcalinizar. Após a correção dos valores de pH, as amostras foram submetidas a ozonização onde o  $\text{O}_3$  era proveniente de um reator acoplado a um lavador de gases (Figura 4), a formação de ozônio por este equipamento é baseada por descarga elétrica de efeito corona, conforme explica (ROSADO, 2014). A produção de  $\text{O}_3$  (equações 5 e 6) e radicais hidroxila (equações 7 e 8) pelo efeito corona estão representada a seguir.





**Figura 4** - Sistema de reação ozonizador.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A melhora qualitativa do efluente após cada tratamento foi verificada ao determinar as variáveis: cor, DQO e nitrogênio nas formas de nitrito, nitrato e amônia. Também foi aferido qual tratamento obteve o efluente de melhor qualidade, sendo observada a eficiência ao utilizar radiação UV-C,  $H_2O_2$  e UV-C/ $H_2O_2$ .

#### 3.1 EFLUENTE FRIGORÍFICO

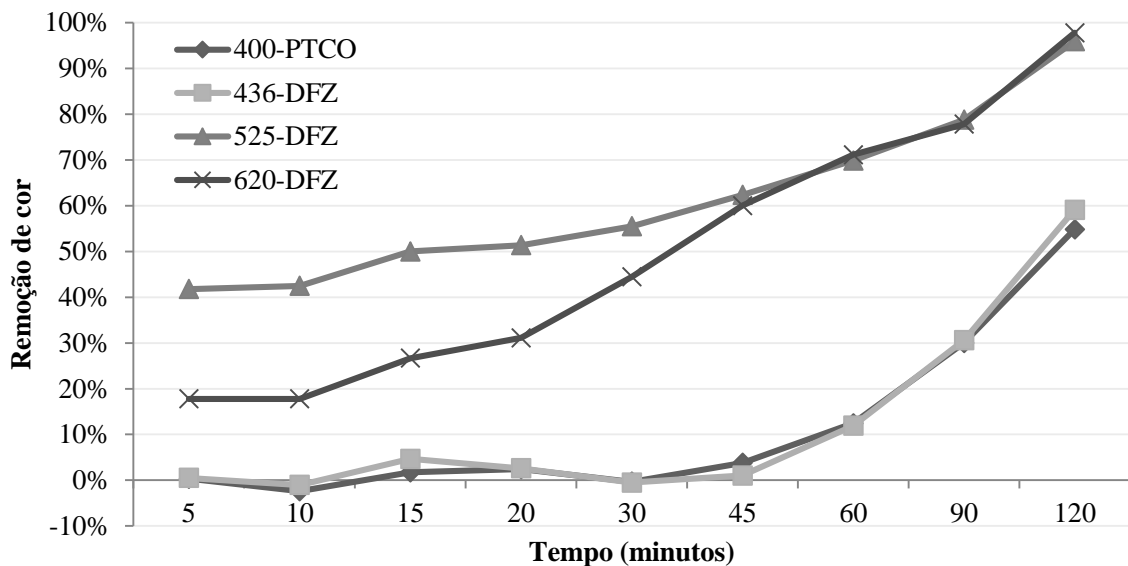
##### 3.1.1 Remoção de cor por UV-C, $H_2O_2$ e UV-C/ $H_2O_2$ de efluentes frigoríficos

O tratamento com UV-C proporcionou uma atenuação dos valores iniciais de cor, uma eficiência que atingiu o patamar de 97%, conforme se observa na Figura 5. Ressalta-se que as melhores eficiências foram observadas para os comprimentos de onda 525 e 620  $\eta m$  remoção esta de 95,9% e 97,8%, respectivamente. De forma diferente, a cor nos comprimentos de onda de 436 e 400  $\eta m$  foi pouco removida, cerca de 60%.

Em média, este processo atenuou 76,9% da cor em todos os comprimentos de onda avaliados. Vasconcelos e Gomes (2009) trazem que a radiação direta, sem formação de



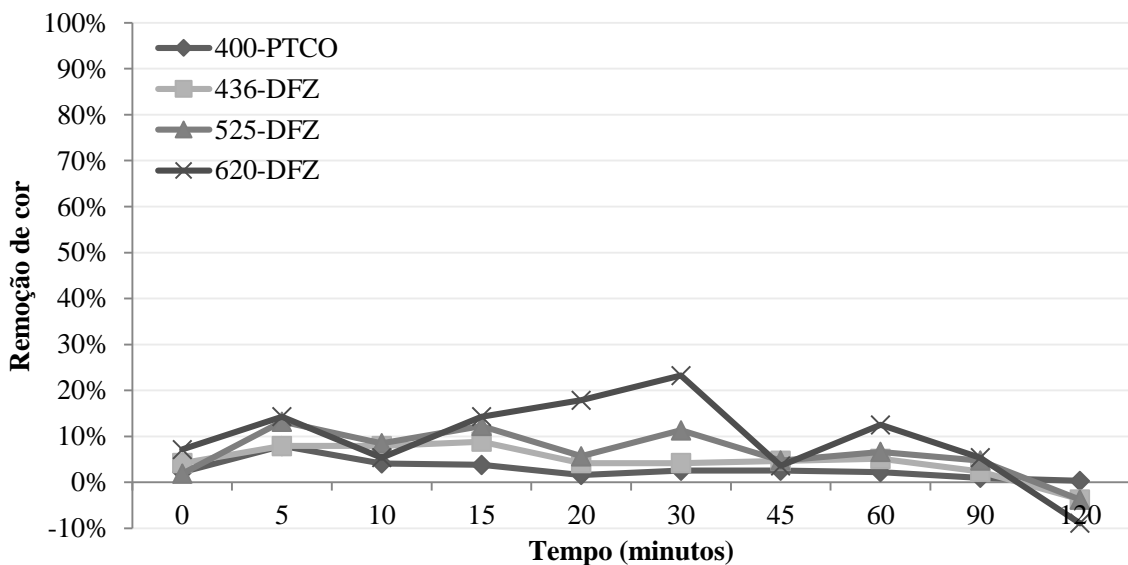
hidroxilas é uma reação capaz de destruir poluentes, porém, geralmente possui uma eficiência mais baixa.



**Figura 5** - Comportamento da cor do efluente refrigerante pelo tratamento UV-C.

Para este mesmo efluente, foi utilizado o teste com reagente peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), no entanto, este se mostrou ineficiente para remoção de cor, com uma atenuação inferior a 25%, como pode ser notado na Figura 6.

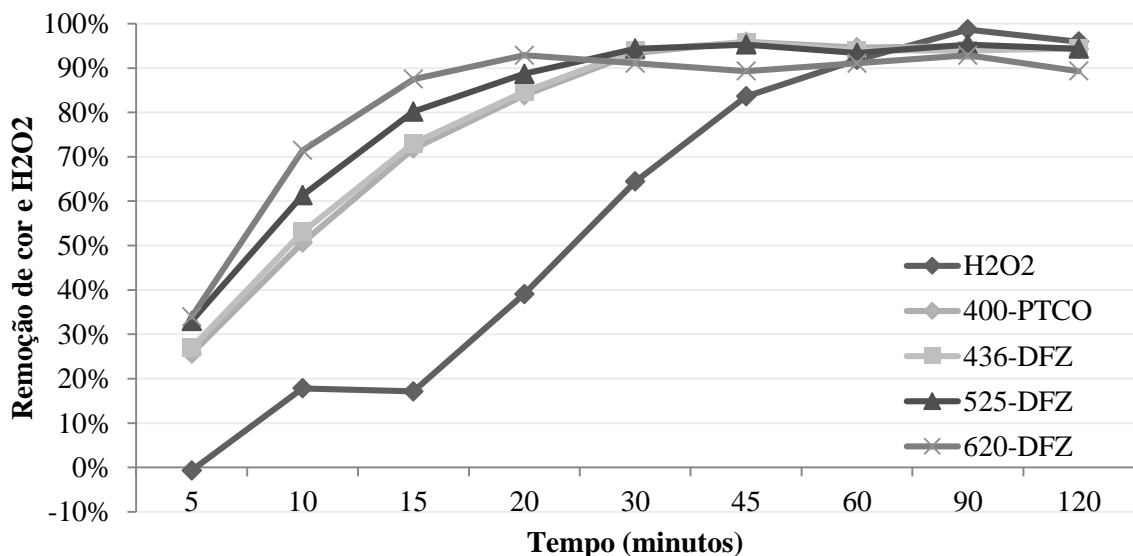
O processo de utilização de  $H_2O_2$  apresenta potencial de oxidação relativamente baixo ( $E^0 = 1,78v$ ) em comparação ao radical hidroxila  $OH\cdot$  ( $E^0 = 2,80v$ ), formado pelos POA's e, desta forma, não participa da oxidação direta da matéria orgânica (Albuquerque (2017)). Outro fator que possivelmente está ligado à baixa eficiência, é o consumo do reagente que ocorre lentamente sem a presença de um fotocatalisador, que ao final dos 120 minutos de reação haviam sido consumidos 38,9% da concentração inicial.



**Figura 6** - Comportamento da cor do efluente refrigerante pelo tratamento  $H_2O_2$ .

Um terceiro processo de tratamento foi testado e consistiu na utilização combinada de UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Os resultados apresentados na Figura 7 evidenciam que a remoção de cor desse tratamento foi de 93,1%, superior à remoção dessa variável no processo de depuração com apenas UV-C. Apesar de menor eficiência que o primeiro método, a utilização de UV-C conjugado com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proporcionou um menor tempo de reação, pois aos 15 minutos de ensaio já foi possível medir remoções acima de 80%, mesma eficiência verificada aos 90 minutos ao se utilizar apenas UV-C, sendo seis vezes menor que o tempo anterior. Rosa, G. (2014) em estudo similar obteve uma remoção de 57,97%, em 60 minutos de reação. O autor realça que a quantidade de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a ser utilizada deve ser considerada, pois em altas concentrações o reagente sequestra radicais OH, transformando-os em hidroperoxila (HO<sub>2</sub>).

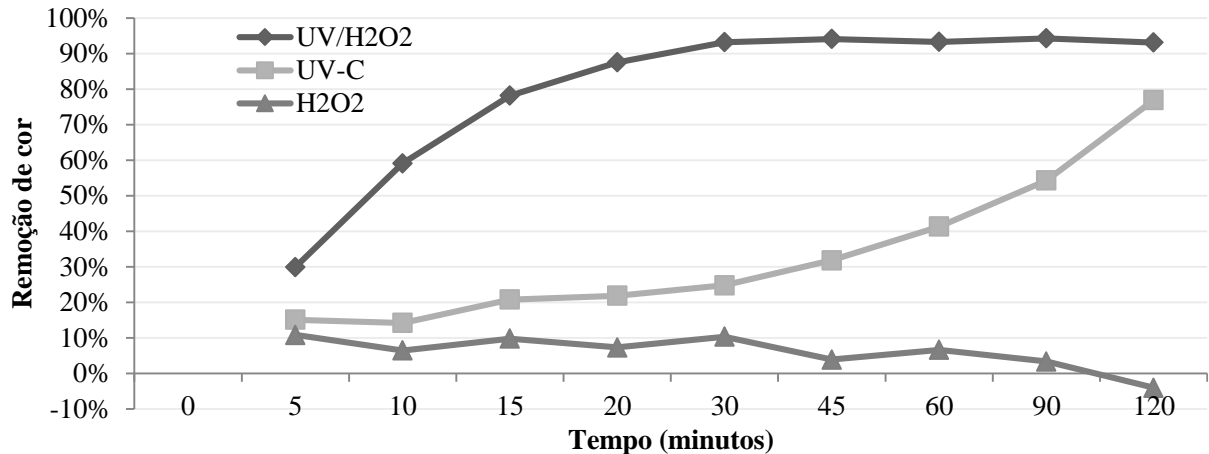
É possível notar que o processo tende a estagnar após os 20 minutos de reação, isso pode ser explicado devido ao consumo acelerado de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e, conseqüentemente, diminuição de sua concentração. Este processo consumiu 95,9% do reagente H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> inicial e, a alta catálise deste reagente em presença de radiação UV-C, forma radicais OH•. Esta combinação de processos auxilia na degradação da matéria orgânica e poluentes, devido à baixa seletividade, desses radicais, no ataque às moléculas (MOURA, 2014).



**Figura 7** - Comportamento da cor do efluente frigorífico e da redução de reagente H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pelo tratamento UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Ao comparar os valores médios de remoção de cor proporcionados pelos três tratamentos estudados (UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), em cada intervalo de tempo, nota-se que o emprego de UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> resultou nas maiores eficiências de atenuação de cor em todos os momentos analisados (Figura 8). Observa-se que no final da reação, o processo com apenas radiação não alcança eficiência próxima do processo combinado, porém há uma tendência de

melhor remoção com um maior tempo de reação. Isso ocorre porque a eficiência de remoção de cor estabiliza por volta de 20 minutos de ensaio com UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, em virtude da redução na concentração do reagente H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Por outro lado, a redução dos valores de cor se pronuncia após 30 minutos de ensaio, seguindo uma curva exponencial. Assim, esses resultados denotam que a concentração inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a ser utilizada é diretamente proporcional ao tempo em que o efluente estará sujeito à reação.



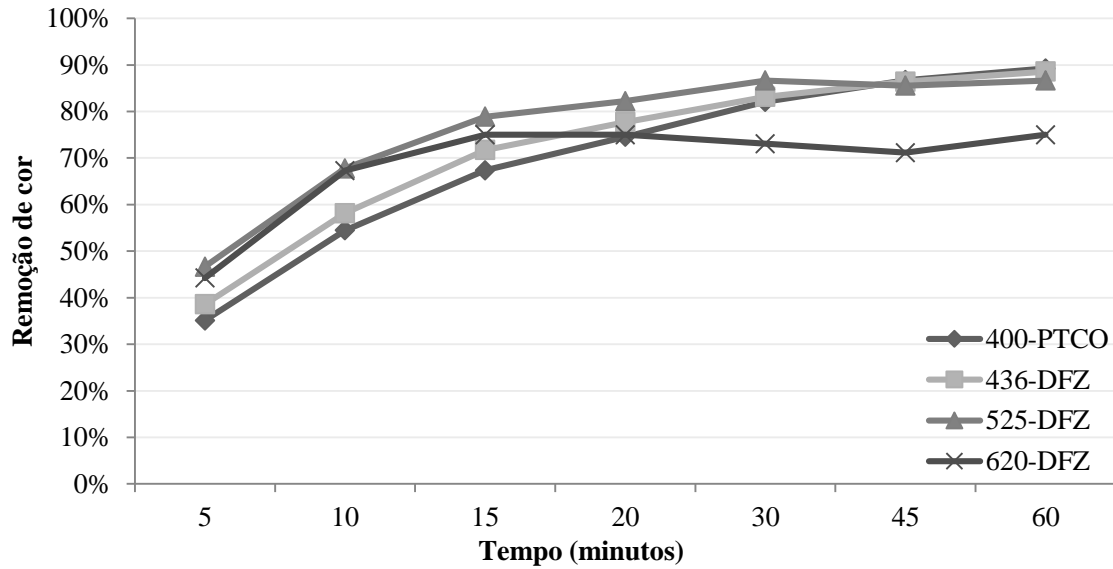
**Figura 8** - Comparação do comportamento da cor do efluente frigorífico pelos tratamentos UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Outro fator importante a ser observado na reação é a eficiência do processo UV-C, onde nota-se que aos 60 minutos já havia uma remoção de 41,3%, sendo que esta tendência de se aproximar do resultado obtido com UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pode refletir a diferença de custos com energia, outro fator importante quando avalia-se a viabilidade de operação de tratamentos. Apesar disso, ressalta-se que o efluente tratado com apenas UV-C permaneceu por mais tempo sob essa radiação para alcançar maiores valores de remoção de cor.

### 3.1.2 Remoção de cor por ozonização

A aferição da produção de ozônio pelo reator apontou uma taxa de 98 mgO<sub>3</sub>.h<sup>-1</sup>. Diferentemente dos ensaios anteriores, o tempo total do tratamento com ozônio teve duração de 60 minutos, pois após esse tempo não se observou diminuição sensível nos valores de cor.

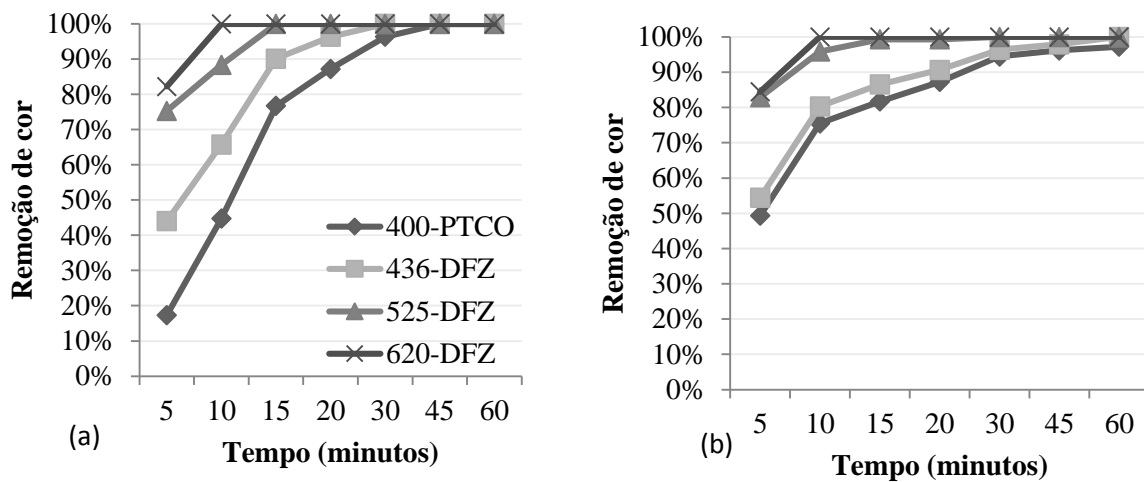
Os ensaios com ozônio apresentaram os melhores resultados para remoção de cor. Este tratamento removeu aos 5 minutos de reação, pelo menos, 35% da cor inicial em um meio ácido (Figura 9), onde age o ozônio molecular. A máxima eficiência foi de 89,3% aos 60 minutos para o comprimento de 400nm e ao considerar a máxima eficiência de cada comprimento de onda obtém a média de remoção de 84,9%.



**Figura 9** - Comportamento da cor do efluente refrigerante pelo tratamento  $O_3$  em meio ácido.

Quando há ação do radical hidroxila ( $OH\cdot$ ) ocorre melhor oxidação dos componentes orgânicos, visto que este tem maior potencial de oxidação que o próprio ozônio molecular ( $E^0 = 2,07v$ ) (CORRÊA, 2016). Assim, foram feitos os ensaios variando-se o meio para verificar a ação dos oxidantes  $O_3$  e  $OH\cdot$ , visto que em meio neutro agem ambos e em pH 10 apenas o radical hidroxila.

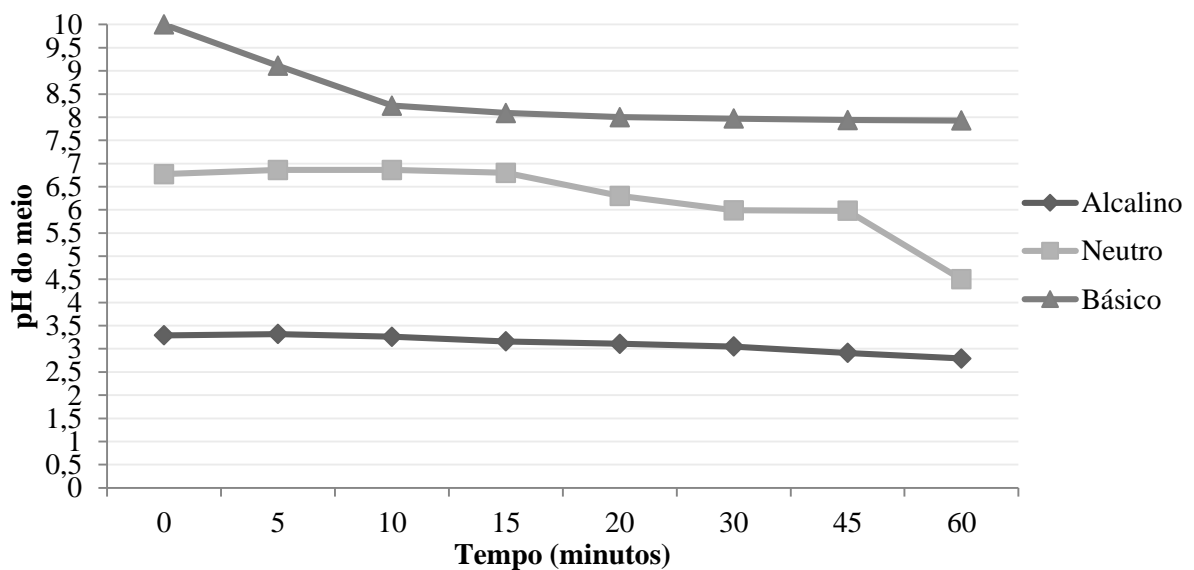
Ao comparar os resultados apresentados na Figura 10, percebe-se que em meio neutro foi possível remover 100% de cor, como mostra as leituras efetuadas em todos os comprimentos de onda. Em meio alcalino, a remoção de cor foi inicialmente a melhor, alcançando 67% aos 5 minutos de reação, porém ao final do processo obteve-se uma média de remoção de 99,31%.



**Figura 10** - Comportamento da cor do efluente frigorífico pelo tratamento  $O_3$  em meios neutro (a) e básico (b).

Todos os ensaios com  $O_3$  mostraram que houve redução do pH com o tempo de reação e estes foram regulados apenas no início do ensaio, isso explica a pouca diferença nos resultados, deixando todos em meio próximos de acidificação.

A queda nos valores de pH aconteceu, pois como explicam Duarte et al. (2008) e Rosa, R. (2014) o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), subproduto da oxidação de poluentes, tem poder acidificante devido à formação de ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ) que, para formar carbonatos, liberam íons de hidrogênio ( $H^+$ ), responsáveis por diminuir o pH. Dessa forma, o ensaio em meio alcalino obteve melhores resultados iniciais, mas com a queda do pH houve uma desaceleração do processo de remoção de cor próximo aos 15 minutos de reação, devido à proximidade do pH ao neutro. A figura 11 retrata a redução do pH nos ensaios.



**Figura 11** - Redução do pH nos ensaios de ozonização.

### 3.1.3 Nitrogênio e DQO

O efluente frigorífico apresentou os seguintes teores iniciais, 1,2 mgN.L<sup>-1</sup> na forma amoniacal, 239,8 mgN.L<sup>-1</sup> na forma de nitrato. Nitrito encontrou-se em menores valores que a curva de calibração (<0,05) e a DQO teve valor de 245mg.L<sup>-1</sup>.

Dentre os tratamentos estudados, apenas a DQO apresentou tendência de decréscimo de sua concentração inicial em todos os testes estudados, tendo destaque o tratamento com UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> que foi capaz de remover toda a carga orgânica. Outras variáveis aumentaram em alguns casos, a tabela 5 mostra o comportamento das variáveis analisadas neste estudo.

**Tabela 5** - Comportamento dos nutrientes e carga orgânica em efluente de frigorífico submetido a diferentes tratamentos.

Tratamento	N-Amônia	N-Nitrato	N-Nitrito	DQO
UV-C	*Aumentou para 3,54 mg.L <sup>-1</sup>	+0,10%	*Aumentou para 4,30 mg.L <sup>-1</sup>	-79,10%
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	*Aumentou para 1,44 mg.L <sup>-1</sup>	+55,10%	*0%	-69,60%
UV-C/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	*Aumentou para 5mg.L <sup>-1</sup>	-97,20%	*Aumentou para 2,34 mg.L <sup>-1</sup>	-100%
O <sub>3</sub> (Ácido)	*Aumentou para 7,67 mg.L <sup>-1</sup>	+51,28%	*0%	-87,01%
O <sub>3</sub> (Neutro)	*Aumentou para 6,47 mg.L <sup>-1</sup>	+43,96%	*0%	-85,43%
O <sub>3</sub> (Alcalino)	*Aumentou para 5,05 mg.L <sup>-1</sup>	+9,6%	*0%	-50,62%

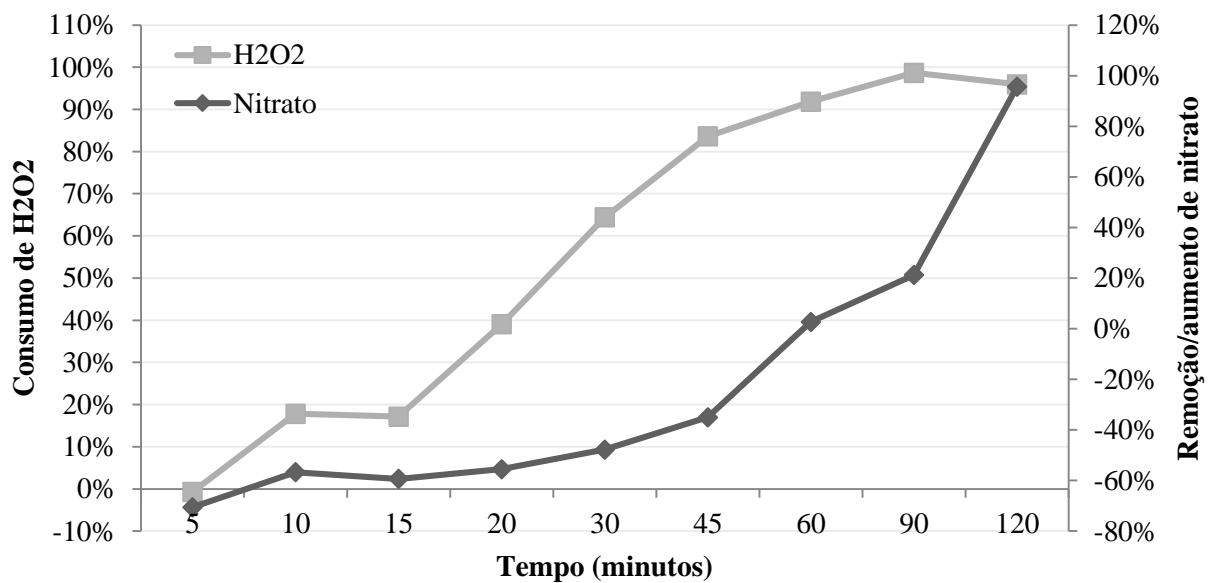
Nota: (\*)Não havia inicialmente; (-)Reduziu; (+)Aumentou.

As formas de nitrogênio estudadas são oriundas umas das outras pelos processos de nitrificação (nitração e nitrosação) responsável pela oxidação do gás amônia (NH<sub>4</sub>) em Nitratos(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) por meio de bactérias (SILVEIRA, 2014). Nota-se que houve um aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, de nitratos (exceto no ensaio UV-C/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e alguns ensaios implicaram acréscimo dos valores iniciais de nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Isso possivelmente é explicado pela presença de outras formas de nitrogênio, dissolvidas no efluente, que não foram avaliados neste trabalho. Nascimento (2016) explica que estes podem estar presentes também nas formas de nitrogenados orgânicos dissolvidos, na forma particulada (biomassa de organismos), que indicam poluição mais recente, ou nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>).

Observa-se no ensaio UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Figura 12), que o consumo do peróxido acompanha a redução do nitrato, isto ocorre, pois alguns compostos solúveis, entre eles o

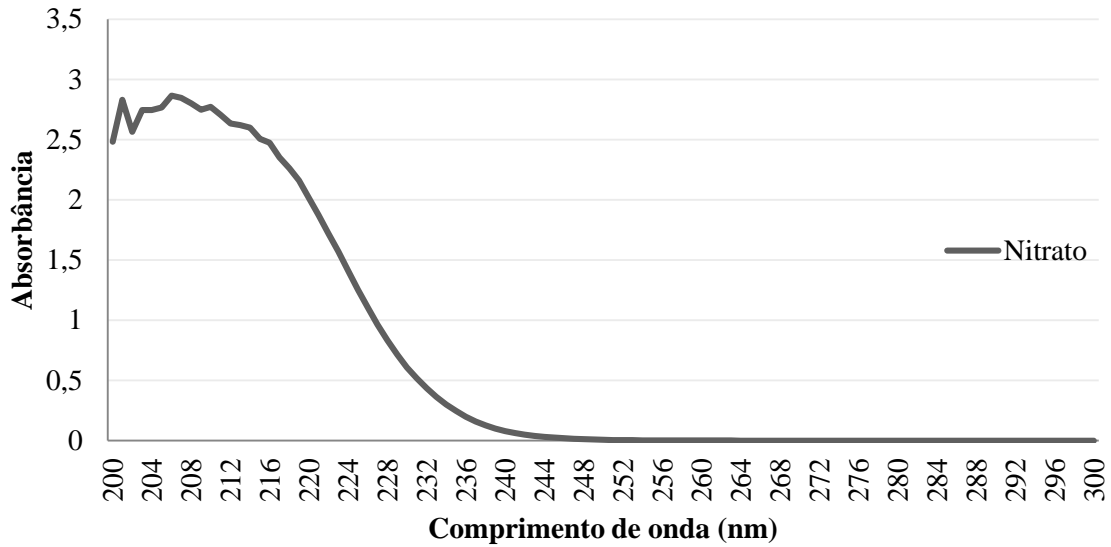
nitrato, absorvem radiação. Conforme destaca Oliveira (2007) o nitrato tem forte absorção no comprimento 220nm que, segundo Gouvêa et al. (2013), contempla a radiação UV-C (100-280nm) utilizada neste experimento. Devido a isto, há menor porção da radiação dedicada à quebra das moléculas de peróxido quando há maior quantidade de nitrato.

Em relação ao aumento de algumas variáveis qualitativas do efluente, Araújo e Yokoyama (2005) mencionam que o método UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gera subprodutos, dentre os quais o dióxido de carbono, água, nitrato e cloreto (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup> respectivamente) que inicialmente resultam em um aumento desses íons e posteriormente o decréscimo.



**Figura 12** - Consumo do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em função da concentração de Nitrato no ensaio de UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Como destacado anteriormente, o nitrato possui maior absorção no comprimento de onda 220 nm. Com o intuito de visualizar o comportamento espectral de uma amostra contendo nitrato (concentração de 66 mg.L<sup>-1</sup>) foi realizado a sua varredura ficando explicitado, conforme se observa na Figura13, que a maior absorção ocorreu no intervalo de 200-220 nm, sendo parte do espectro que corresponde à radiação UV-C. Tais resultados corroboram as afirmações de Oliveira (2007).



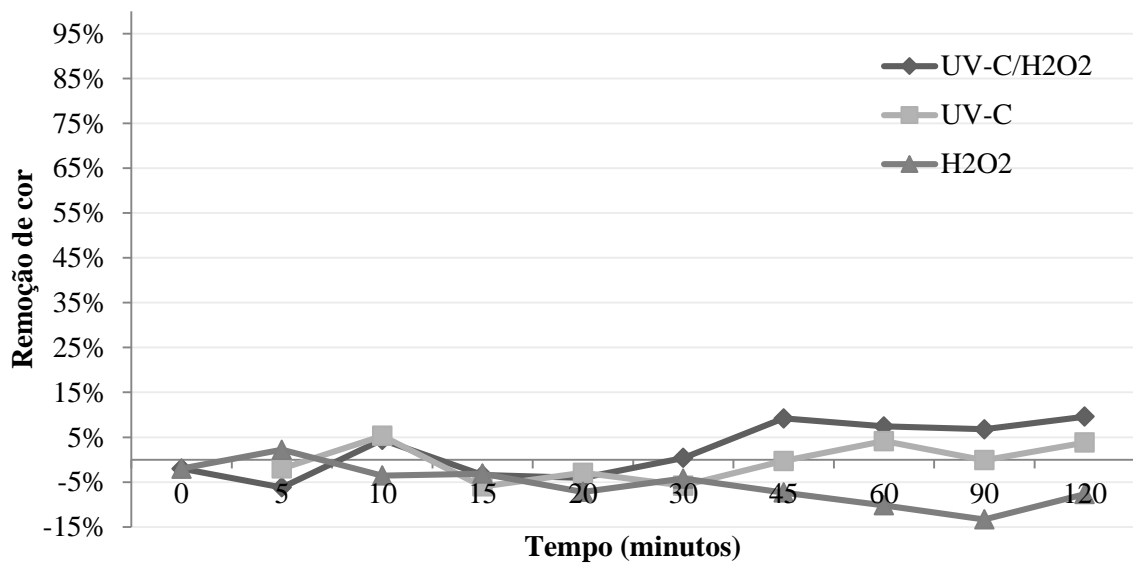
**Figura 13** – Varredura de absorção do nitrato.

## 3.2 EFLUENTE TÊXTIL

### 3.2.1 Remoção de cor por UV-C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Para remoção de cor, em efluente sintético têxtil, os ensaios realizados com UV-C e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram ineficientes e não apresentaram reduções maiores que 12,5%. Porém apesar da pouca redução deste parâmetro, observa-se que o processo combinado UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> apresentou melhores resultados, a figura 14 configura o comportamento da curva das médias de remoção, em porcentagem, de coloração do efluente. Na reação UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> houve considerável consumo de peróxido, chegando a reagir 75% aos 120 minutos, porém na reação sem fotocatalise não houve o mesmo gasto do reagente.

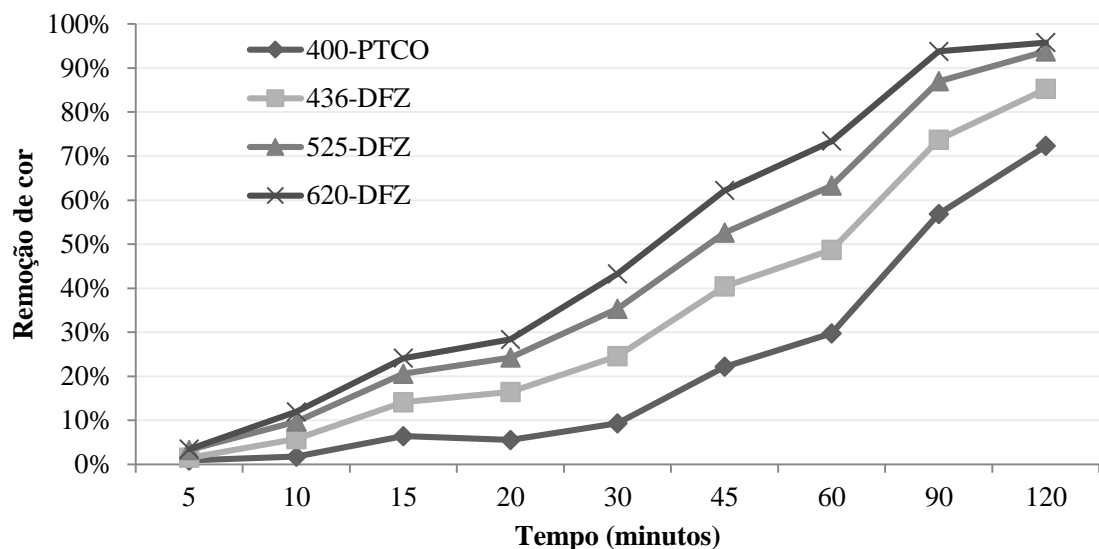




**Figura 14** - Comportamento da cor do efluente de corante pelo tratamento UV-C, H2O2 e UV-C/H2O2.

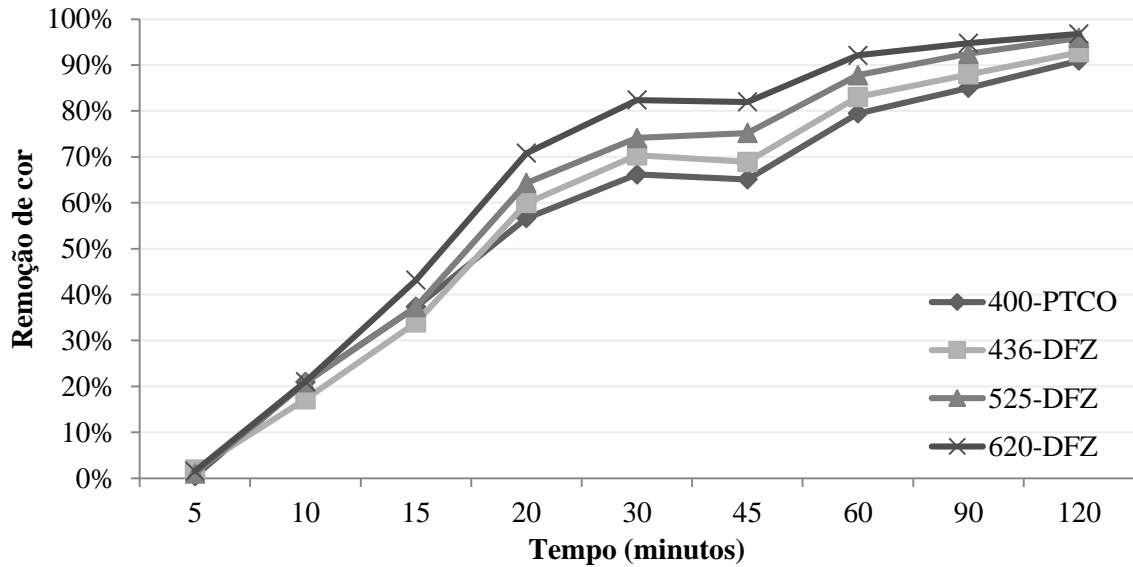
### 3.2.2 Remoção de cor por Ozonização

Quando feito o ensaio com ozônio em meio ácido no efluente de corante, conseguiu-se remoção de até 95,8% para o comprimento de onda de 620nm, conforme se nota na Figura 15. Ao considerar todos os comprimentos de onda obteve-se uma média de redução de 86,78%.



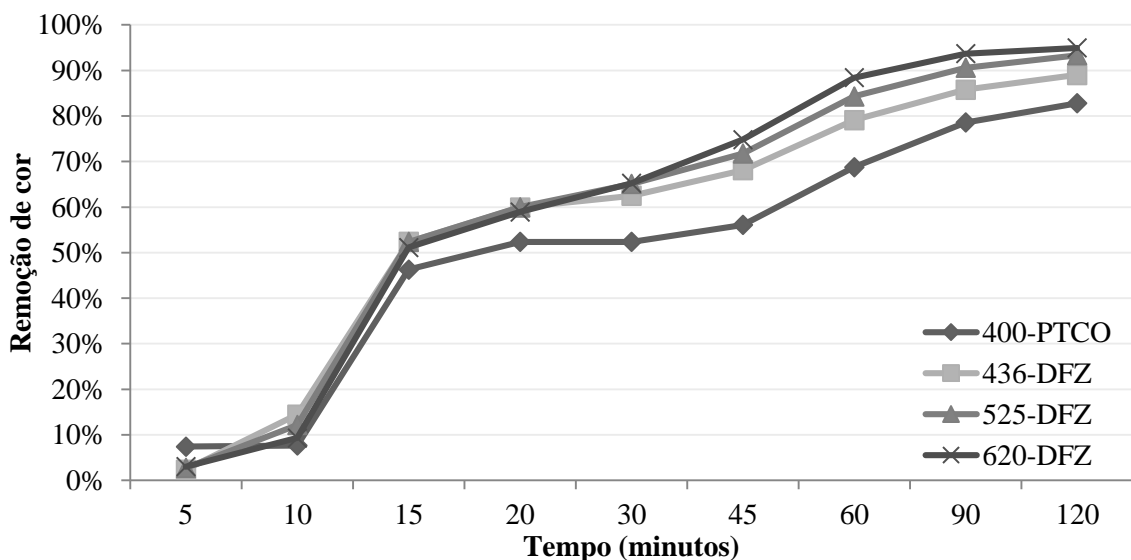
**Figura 15** - Comportamento da cor do efluente de corante pelo tratamento O<sub>3</sub> em meio ácido.

Em meio neutro, ao fim dos 120 minutos de reação, o ozônio alcançou remoção de cor de até 97% para o comprimento de onda 620 nm (Figura 16) e uma média de 94,3% em relação à cor inicial, mostrando melhores resultados que em meio ácido.



**Figura 16** - Comportamento da cor do efluente de corante pelo tratamento  $O_3$  em meio neutro.

O ensaio em meio básico foi o que resultou na remoção mais rápida de cor, com média de 51,7 % aos 15 minutos de reação. Porém obteve-se menor média ao final do ensaio (91,2%) que o ensaio em meio neutro. Os ensaios em meio neutro e alcalino obtiveram melhores resultados que em meio ácido, corroborando com a literatura, onde encontra-se que o radical hidroxila, formado em meio alcalino e neutro, tem maior poder de oxidação que o ozônio molecular, presente isoladamente em meio ácido (CORRÊA, 2016). É mostrado, na Figura 17, a remoção de cor no ensaio de ozonização em meio básico.



**Figura 17** - Comportamento da cor do efluente de corante pelo tratamento  $O_3$  em meio básico.

### 3.3 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS VISANDO REÚSO OU DESCARTE

Devido à ausência de normativas, estritamente sobre reúso da água, no Brasil, utilizou-se a comparação da qualidade do efluente pós-tratado com as classes de água previstas na CONAMA 357(2005) devido esta prever usos para cada classe. Desta forma, aplica-se as classes apenas para uso direto, não prevendo diluição em corpo hídrico receptor. Os parâmetros analisados neste estudo também foram analisados a fim de descarte

A Tabela 6 mostra os requisitos exigidos pelas resoluções para cada classe, sendo essas classes de água doce descritas na Resolução CONAMA 357.

O parâmetro turbidez foi medido no pós- tratamento para fins de comparação com as resoluções aqui apresentadas. Para esta variável todos os ensaios obtiveram efluente final adequados à classe 1, porém para o efluente sintético os ensaios de UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (49,6 UNT), ozonização em meio ácido (50 UNT) e meio básico (54,1UNT) se adequaram à classe 2 e os demais à classe 1. A Resolução CONAMA 430/2011 exige que o efluente esteja a uma temperatura menor que 40 °C, parâmetro obtido em todos os efluente tratados neste trabalho.

**Tabela 6** - Padrões de classificação de água e lançamento de efluentes exigidos pelas resoluções CONAMA 357 (2005) e 430 (2011).

	Conama 357/2005			Conama 430/2011
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
<b>Temperatura</b>	-	-	-	< 40 °C
<b>Cor</b>	Natural*	75 mg Pt/L*	Padrão classe 2	-
<b>pH</b>	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	5,0 a 9,0
<b>Turbidez</b>	40UNT	100 UNT	100 UNT	-
<b>Nitrito</b>	1,0 mg/L N	Padrão classe 1	Padrão classe 1	-
<b>Nitrato</b>	10,0 mg/L N	Padrão classe 1	Padrão classe 1	-
<b>Amônia</b>	3,7mg/L N <sup>1</sup> 2,0 mg/L N <sup>2</sup> 1,0 mg/L N <sup>3</sup> 0,5 mg/L N <sup>4</sup>	Padrão classe 1	13,3 mg/L N <sup>1</sup> 5,6 mg/L N <sup>2</sup> 2,2 mg/L N <sup>3</sup> 1,0 mg/L N <sup>4</sup>	20,0 mg/L N

Nota: (1) pH ≤ 7,5; (2) 7,5 < pH ≤ 8,0; (3) 8,0 < pH ≤ 8,5; (4) pH > 8,5; (\*) Não serão permitidos corantes que não são removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais; (-) Não previsto na resolução.

Quando comparado o parâmetro cor, a Resolução 357 (2005) não exige valores específicos para a classe 1, sendo necessário apenas não haver coloração não natural do corpo d'água. Dessa forma, os tratamentos, para efluente frigorífico, com ozônio ( $31,65\text{mgPt.L}^{-1}$  para meio ácido;  $0,0\text{mgPt.L}^{-1}$  em meio neutro e  $8,44\text{mgPt.L}^{-1}$  em meio alcalino) e UV-C/ $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $19,0\text{mgPt.L}^{-1}$ ) alcançaram valores menores que os exigidos para classe 2, enquanto os tratamentos com UV-C ( $138,20\text{mgPt.L}^{-1}$ ) e  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $332,28\text{mgPt.L}^{-1}$ ) não se enquadraram nas classes especificadas nesta resolução. O mesmo aconteceu com todos os tratamentos utilizando efluente sintético com presença de corante.

As análises de nitrogênio somente foram realizadas no efluente frigorífico. Como descrito na tabela 5 o nitrogênio na forma de nitrito ultrapassou  $1,0\text{mg/L N}$  apenas nos ensaios de UV-C e UV-C/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , portanto nos demais ensaios obteve-se adequação à classe 1 de águas doces. Já para  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ , apenas UV-C/ $\text{H}_2\text{O}_2$  apresentou valores adequados ao padrão exigido, com concentração final de  $6,8\text{mg/L N}$ .

Para os ensaios em efluente frigorífico, o pH final das amostras esteve de acordo com o intervalo previsto nas duas resoluções, ou seja, acima de 6, exceto nos ensaios de ozonização em meio ácido e alcalino. Desta forma, para amônia, as amostras que obtiveram  $\text{pH} \leq 7,5$  foram UV-C, em que os valores de nitrogênio amoniacal ( $3,5\text{mg/L N}$ ) se adequaram à classe 1, e UV-C/ $\text{H}_2\text{O}_2$  em que os valores foram de  $5,0\text{mg/L N}$ , adequando-se à classe 2. O ensaio com  $\text{H}_2\text{O}_2$  mostrou resultados de  $\text{pH} = 7,84$  e  $1,5\text{mg/L N}$  amoniacal, adequando-se à classe 1 enquanto que o ensaio com ozônio em meio alcalino obteve valores de  $\text{pH} = 8,41$  e nitrogênio amoniacal de  $5,0\text{mg/L N}$  e não se adequou às classes estabelecidas na CONAMA 357/2005.

Observou-se que a concentração de nitrogênio amoniacal final nos tratamentos realizados neste estudo permitiu que todos os efluentes se adequassem à concentração exigida pela CONAMA 430 (2011), de no máximo  $20,0\text{mg/L N}$ .

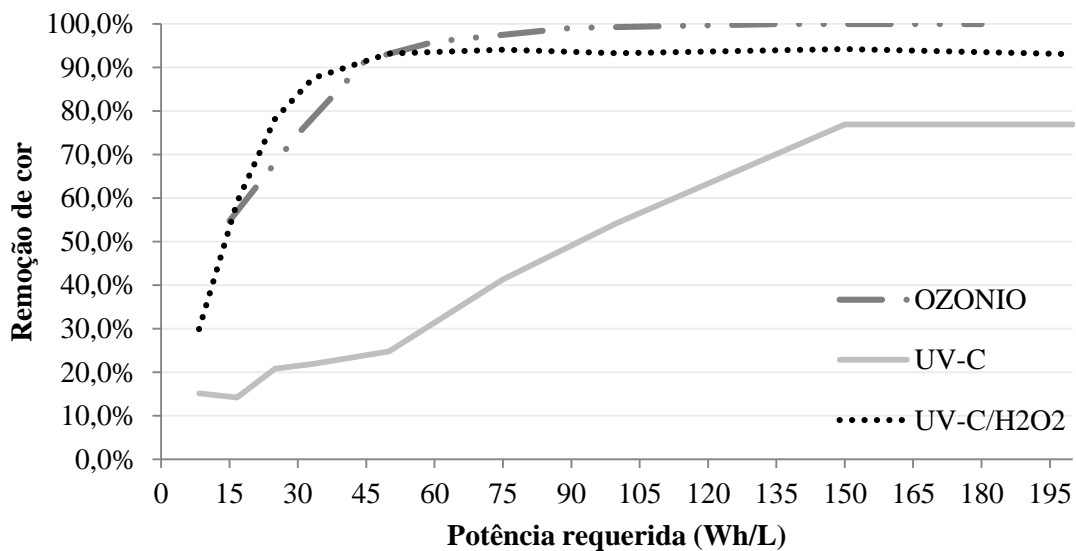
### **3.3.1 Eficiência energética dos tratamentos**

Esse tópico objetivou comparar a eficiência dos métodos utilizados para depurar o efluente, no entanto, é verificada a potência energética requerida para manter funcionando cada metodologia de tratamento. A importância de se fazer essa verificação consiste no fato que os processos avançados de oxidação podem apresentar elevado custo, devido à necessidade de implantação de instalações de grande porte nas redes de tratamento de água e

ao enorme gasto de energia demandado pela maior parte dos procedimentos (GOUVÊA, 2013). Assim, essa análise buscar apontar o tratamento que requer a menor potência resultando em menores custos.

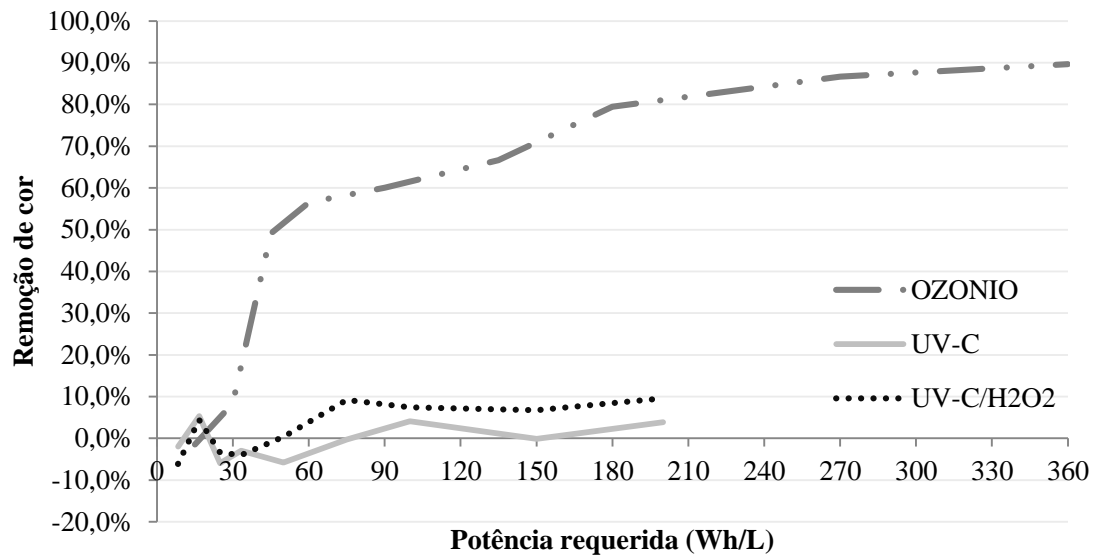
Os resultados mostraram que o tratamento com ozônio, em efluente frigorífico, além de ter alcançado melhores resultados para remoção de cor e também teve menor gasto energético para uma mesma eficiência. Ao fim do ensaio e, da mesma maneira, nota-se que a partir do momento que os tratamentos de ozônio e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alcançam remoções de cor acima de 90% há o contínuo gasto energético da fonte de radiação sem que haja melhora nos resultados, e o reator de ozônio apresenta constante evolução até a remoção total.

Assim, o ensaio UV-C mostra que ao utilizar a radiação isolada haverá um maior gasto energético, devido ao maior tempo necessário de reação, para que haja remoção semelhante ao ensaio UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. A rápida ascensão da linha, correspondente ao ensaio UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, do gráfico (Figura 18) retrata este comportamento, quando há maior concentração de reagente, ocorre a aceleração da remoção de cor, e quando há menor concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, o processo tende a estabilizar.



**Figura 18** - Gasto energético para remoção de cor nos tratamentos do efluente frigorífico.

Quando utilizados os processos para efluente sintético, houve melhor remoção e menor gasto energético também no ensaio com ozônio, observa-se, na Figura 19, que este ensaio apresenta maiores remoções logo no início do processo com gasto energético de 30 Wh.L<sup>-1</sup> e remoção de 90% da cor com 360 Wh.L<sup>-1</sup>.



**Figura 19** - Gasto energético para remoção de cor nos tratamentos do efluente sintético.

O processo UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> removeu menos de 10% da cor, porém nota-se que há tendência à ascensão, levando a considerar que maiores tempos de ensaio, com maior gasto energético, podem remover melhor a cor. Em processo semelhante a este, Subtil, Mierzwa e Hespanhol (2009) utilizaram uma fonte de radiação de 1600 W com um volume útil de 0,67 L e vazões de 360 e 180 L.h<sup>-1</sup> e adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em proporção mássica ao Carbono Orgânico Total (COT). Neste ensaio, os autores utilizaram 25L de efluente petroquímico por 9,3h e obteve remoção de cor de 10% e 83% de DQO utilizando 469 kWh.m<sup>-3</sup> e 442 kWh.m<sup>-3</sup> (Wh.L<sup>-1</sup>), para vazões de 360 e 180 L.h<sup>-1</sup> respectivamente, mostrando remoções semelhantes a este trabalho, principalmente em relação a cor, porém com o dobro de gasto energético.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu analisar a eficiência de diferentes processos oxidativos. Em todos os ensaios, a ozonização permitiu melhores resultados em pH neutro e alcalino para remoção de cor para os efluentes frigorífico e sintético, porém nota-se que a presença de corantes sintéticos constitui uma maior dificuldade na remoção da cor.

Os ensaios com efluente frigorífico possibilitaram a adequação a pelo menos a classe 2 de águas doces em relação à coloração nos ensaios de ozônio e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, não sendo possível o enquadramento com os ensaios de UV-C e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, mostrando que o processo combinado otimiza os resultados. Não foi possível remover a cor na presença de corante, de forma que pudesse se enquadrar em uma das classes de água nas condições estudadas.

UV-C e UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> não possibilitaram o efluente frigorífico ao enquadramento nas exigências da CONAMA 357 (2005) em relação a nitrito, porém apenas o tratamento com UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> possibilitou a remoção de nitrato de forma que se enquadrasse nas exigências desta Resolução, enquanto que para amônia, o ensaio de O<sub>3</sub> foi o único que não removeu a ponto de qualquer padrão de classificação da CONAMA 357(2005). De modo contrário, todos os ensaios apresentaram níveis de amônia para que pudesse ser descartado de maneira correta.

Neste trabalho utilizou-se um corante com composição não informada, desta forma não seria possível averiguar a origem de quaisquer nutrientes que estivessem presentes, sendo assim não avaliados estes após o tratamento.

Apesar de alguns trabalhos retratarem que ozônio apresenta melhores efeitos oxidantes em meio alcalino, devido à formação de radicais hidroxila, este trabalho concluiu remoções semelhantes também em meio neutro. Sendo importante também avaliar se a mudança de meio modifica os fatores toxicológicos do ozônio.

Quanto à eficiência energética, o ozônio teve melhores resultados utilizando menor quantidade de energia tanto no efluente frigorífico como no sintético, porém neste trabalho

não foi avaliada uma concentração ótima de reagente  $\text{H}_2\text{O}_2$  para o ensaio UV-C/ $\text{H}_2\text{O}_2$  que apresentou resultados competitivos ao ozônio no efluente frigorífico.



## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Jayne Cosme. **Avaliação da descoloração de águas residuárias contendo corantes têxteis sintéticos, usando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> /UV**. 2016. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

ALBUQUERQUE, Maria Virgínia da Conceição. **AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DA MICROCISTINA-LR NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO EM SISTEMA CONVENCIONAL SEGUIDO POR PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO (POA)**. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

ALMEIDA, Alcione Aparecida de. **Tratamento de efluente de indústria têxtil utilizando processos químicos avançados via reações de fenton modificadas**. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

AMAR, Nihel Ben et al. Comparison of tertiary treatment by nanofiltration and reverse osmosis for water reuse in denim textile industry. **Journal Of Hazardous Materials**. Tunisia, p. 111-117. Maio de 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater** 19<sup>a</sup> edição. Byrd Prepress Springfield, Washington. 1995.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION (APHA; AWWA; WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21<sup>a</sup> edição. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005. 1200p.

AQUASTAT. Water withdrawal by sector, around 2010. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), 2016. Disponível em: <[www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal_eng.pdf)>. Acesso em 15/08/2017

ARAÚJO, Bruna Magalhães; SANTOS, Ana Silvia Pereira; SOUZA, Frank Pavan de. **Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de efluentes para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil**. Perspectivas Online, Campos dos Goytacazes, v. 7, p.51-61, 2017.

ARAÚJO, Fabiana Valéria da Fonseca; YOKOYAMA, Lídia. REMOÇÃO DE COR EM SOLUÇÕES DE CORANTES REATIVOS POR OXIDAÇÃO COM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> /UV. **Quim. Nova**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p.11-14, 2005.

ARAÚJO, Karla Santos de et al. PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS E EFLUENTES INDUSTRIAIS. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2014, Belo Horizonte. **Anais...** . Belo Horizonte: Ibeas – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2014. p. 1 - 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.725: Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

BARROS, A. A. R. de C. **Reúso de efluente de estampa digital pós tratamento fotocatalítico**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2016.

BARROS, Amanda Aparecida Ruy de Camargo et al. **Reúso de efluente oriundo de estampa digital em tecidos de algodão 100%**. In: CONGRESSO CIENTÍFICO TÊXTIL E MODA, 4., 2016, Blumenau. **Anais** . 2016.

BRASIL. Lei nº 9433, de 17 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o

inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRITO, Núbia Natália de; SILVA, Victor Borges Marinho. **PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO E SUA APLICAÇÃO AMBIENTAL. Revista Eletrônica de Engenharia Civil-REEC**, v. 1, n. 3, p.36-47, 2012.

BUSS, Marta Verônica et al. Tratamento dos Efluentes de uma Lavanderia Industrial: Avaliação da Capacidade de Diferentes Processos de Tratamento. **Revista de Engenharia Civil Imed**, .., v. 1, n. 2, p.2-10, 2015.

CALDA, Solange Alves Batista; SAMUDIO, Edgar Manuel Miranda. **ÁGUA DE REÚSO PARA FINS INDUSTRIAIS ESTUDO DE CASO. Brasil Para Todos-Revista Internacional**, v. 3, n. 2, 2016.

CARVALHO, Cassandra Bonfante de. **Degradação e Mineralização do corante Acid Black 210 por Processos Oxidativos Avançados**. 2016. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CASTILHOS, Stefani. **EMPREGO DE OZONIZAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL**. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.

CONAMA. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

CORRÊA, Nathália Torres. **Cinética de redução de cor icumsa em caldo de cana-de-açúcar por ozonização em reator RPA/CSTR para produção *sulfur-free* de açúcar branco**. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2016.

COUTINHOR, Luana Dumas et al. **RESÍDUOS SÓLIDOS E TRATAMENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE LAVANDERIA INDUSTRIAL PARA LAVAGEM DO JEANS: UM ESTUDO DE CASO.** In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8, 2017, Curitiba. **Anais...** . Curitiba. 2017.

CRUZ, Juliana Lemes da. **ESCASSEZ DE ÁGUA: Impactos socioambientais e a segurança alimentar e nutricional sustentável.** 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação Stricto Sensu: Saúde, Sociedade e Ambiente, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2015.

CUNHA, R. S.; SILVA, G. P.; LEITE, R. H. L.. **ELETROOXIDAÇÃO DOS CORANTES REATIVOS AZUL BF-5G E VERMELHO BF-4B UTILIZANDO ELETRODOS DE TITÂNIO PLATINADO.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20, 2014, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: Cobeq, 2014.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos.** PEQ, COPPE, UFRJ, 2008. 360 p. v. 5. (Série Escola Piloto de Engenharia Química).

DUARTE, Anamaria S. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p.302-310, 2008.

ESTENDER, Antônio Carlos; PINHEIRO, Amanda Andolfato. Reutilização da água na indústria. **Revista de Administração da Fatea - RAF**, Lorena-SP, v. 11, p.06-127, Jul/Dez 2015.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FIEMG (Minas Gerais) (Org.). **GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA TÊXTIL.** 2016.

Disponível em:

<[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/GUIAS\\_TECNICOS\\_AMBIENT AIS/guia\\_textil.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENT AIS/guia_textil.pdf)>. Acesso em: 08 set 2017.

FEITOSA, Alex Pinheiro. **Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reúso da água no semiárido brasileiro.** Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Manejo de Solo e Água, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2016.

FEITOSA, Anny Kariny; BERWANGER, Leandro; HILGEMANN, Maurício. **ANÁLISE DE EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA UNIVERSITÁRIA.** **Perspectivas Online**, Campos dos Goytacazes, v. 05, n. 11, p.17-23, 2015.

FERREIRA, Agmar. **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO LODO FLOTADO PROVENIENTE DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM FRIGORÍFICO DE AVES COMO BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE VAPOR.** 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2016.

GONÇALVES, Leandro Vicente. **TRATAMENTO ELETROQUÍMICO E FÍSICO-QUÍMICO PARA EFLUENTE DE LAVANDERIA INDUSTRIAL TÊXTIL.** 2015. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná., Londrina, 2015.

GOUVÊA, Marcos M. et al. **APLICAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA COMO FORMA DE CONTRIBUIÇÃO PARA A QUÍMICA VERDE E CONSTRUÇÃO DE UM REATOR FOTOQUÍMICO ALTERNATIVO E DE BAIXO CUSTO, PARA PRÉ-TRATAMENTO DE AMOSTRAS.** *Química Nova*, ., v. 37, n. 2, p.337-343, 2013.

INNORPI- Institut National de la Normalisation et de la Propriete Industrielle. Norma n° 106.03, de 1989. **Protection de l'environnement - Utilisation Des Eaux usées traitées À Des Fins Agricoles - spécifications Physico-chimiques Et Biologiques.** Tunisia, 1989.

JÚNIOR, A. D. N. F. **Tratamento de efluente têxtil em reator Uasb seguido de biofiltro aerado submerso.** Recife (UFPE), 2010. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pernambuco, 2010.

KAMMRADT, Patricia Bastos. **REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES DE TINTURARIAS INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE PROCESSO DE OXIDAÇÃO AVANÇADA.** 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2004.

KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent—A review. *Journal of environmental management*, v. 128, p. 949- 963, 2013

KÜLZER, Bruna Natasha; RODRIGUES, Cristiane Oliveira. Geração e processos físico-químicos de tratamento de efluentes líquidos contendo pigmentos. *Holos Environment*. v. 16, n. 1, p.58-69, 2016.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reúso da água.** São Paulo: Manole, 2003. 1 v.

MARCELINO, Rafaela Brito Portela et al. **Tendências e desafios na aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes industriais não biodegradáveis: atuação do grupo de pesquisas poa control da ufmg.** rev. ufmg, belo horizonte, v. 20, n.2, p. 358-383 jul./dez. 2013.

METCALF & EDDY. **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications.** California: Aecom, 2007. 1461 p.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reúso.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MOURA, Dayanne Chianca de. **Aplicação de tecnologias eletroquímicas (oxidação via radicais hidroxila, oxidação mediada via cloro ativo e eletrocoagulação) para o tratamento de efluentes reais ou sintéticos.** 2014. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

NASCIMENTO, Herlan Silva do Carmo. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SUBAÉ.** 2016. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.

NOGUEIRA, R.F.P; OLIVEIRA, M.C.; PATERLINI, W.C. **Simple and fast spectrophotometric determination of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in photo-Fenton reactions using metavanadate.** Atlanta, v. 66, 2005b.

OLIVEIRA, F.M. Aplicação e testes do método APHA-4500-NO<sub>3</sub>-C para determinação de nitratos em águas por leitura em UV com segunda-derivada. Revista Analítica. v.27, p. 80-88, 2007.

OLIVEIRA, L. A.; MADEIRA, V. S. **Tratamento terciário de esgoto sanitário visando o reúso da água.** In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, Florianópolis, 2014.

PACHECO, José Wagner Faria. **GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DE FRIGORÍFICOS INDUSTRIALIZAÇÃO DE CARNES (BOVINA E SUÍNA) - SÉRIE P+L.** 21. ed. São Paulo: Cetesb, 2006. 85 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 28 out. 2017.

PEREIRA, Samanta Vieira. **DEGRADAÇÃO DA ATRAZINA PELO PROCESSO UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> E OZÔNIO, IDENTIFICAÇÃO DOS INTERMEDIÁRIOS E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ESTROGÊNICA.** 2011. 168 f. Tese (Doutorado) - UFRJ/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PORTO, André Elias Brianese; SCHOENHALS, Marlise. TRATAMENTO DE EFLUENTES, REÚSO DE ÁGUA E LEGISLAÇÃO APLICADA EM LAVANDERIA TÊXTIL INDUSTRIAL. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 2, p.68-80, mar/abr de 2013.

QUEIROZ, Marluce Teixeira Andrade et al. GESTÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Florianópolis, v. 8, n. 15, p.114-135, 2016.

RIBEIRO, Walisson Bruno Alves. **ESTUDO DE CASO SOBRE O IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR UMA LAVANDERIA DE JEANS NA CIDADE DE CARUARU - PE**. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

ROLLEMBERG, Silvio Luiz de Sousa; SOBRAL, Fabio Maia. **avaliação do potencial de reúso de água em fortaleza-ce**. Rede: Revista Eletrônica do PRODEMA, [s.l.], v. 10, n. 02, p.147-158, 7 dez. 2016. REDE – Revista Eletronica do PRODEMA.

ROSA, Gustavo Coutinho. **Avaliação do tratamento de efluente industrial utilizando processo oxidativo avançado uv/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**. 2014. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ROSA, Rui. Impacto sinérgico da acidificação dos oceanos, aquecimento global e expansão de zonas hipóxicas na ecologia migratória das lulas Humboldt. **Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos**, v. 1, n. 1, p.1-10, 2014.

ROSADO, Francisca Gabriela Lopes. Aplicação da ozonização e de processos oxidativos avançados na degradação dos fármacos paracetamol e dipirona presentes em efluentes aquosos simulados. Diamantina, MG. 2014.

SAFT, Graziella Kassick; CALHEIRO, Daiane. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PROCESSOS DE LAVAGEM DE ROUPAS EM UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 5. **Anais...** . São Leopoldo: ., 2014

SILVEIRA, Alzenia Menezes. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SERGIPE USANDO ANÁLISES MULTIVARIADAS DE DADOS**. 2014. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2014.

SOUZA, A. P. C.; SOUZA, E.A. M.; PEREIRA, N. C.. ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO COAGULANTE POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) NA REMOÇÃO DA COR, TURBIDEZ E DQO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA TEXTIL. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2014, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis, 2014.

SOUZA, A. P. C.; SOUZA, E.A. M.; PEREIRA, N. C.. ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO COAGULANTE TANINO NA REMOÇÃO DA COR, TURBIDEZ e DQO DO EFLUENTE TEXTIL DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2014, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis, 2014.

SOUZA, Bianca Miguel de. **AVALIAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS ACOPLADOS COM CARVÃO ATIVADO GRANULADO COM BIOFILME PARA REÚSO DE EFLUENTES DE REFINARIA DE PETRÓLEO.** 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, Fernanda Siqueira. **DEGRADAÇÃO DE POLUENTES EMERGENTES POR PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/UV, O<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup>, O<sub>3</sub>/UV/Fe<sup>2+</sup>) VISANDO O TRATAMENTO DE EFLUENTES HOSPITALARES.** 2016. 141 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SOUZA, Rafael, Ribeiro, W. M. R.. **Uma análise das políticas públicas para o desenvolvimento sustentável: a utilização da água de reúso.** Universidade Federal Fluminense.2016.

SUBTIL, E. L.; MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Avaliação do desempenho do sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento de efluentes provenientes do processo de tratamento térmico de emulsões de água e óleo. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 169-180, 2009.

SUBTIL, Eduardo Lucas et al. Potencial de reúso de água na lavagem de caminhões utilizando Contator Biológico Rotativo. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science.** Taubaté. Out-Dez, 2016.

TAVARES, Bruna Guerreiro. **SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA SUBSIDIAR A GESTÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS EM PORTOS MARÍTIMOS NO BRASIL.** 198 f. Dissertação (Mestrado). UFRJ/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Rio de Janeiro, 2017.

TONES, Aline Raquel Müller. **ESTUDO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ELETROFLOCULAÇÃO NA REMOÇÃO DA COR EM MISTURAS DE CORANTES**



**TÊXTEIS.** 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná., Medianeira, 2015.  
**TREVIZANI, Jéssica Luiza Bueno. DESCOLORAÇÃO E DEGRADAÇÃO DO AZO CORANTE VERMELHO BR POR OZONIZAÇÃO.** 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2015.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **RELATÓRIO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS : Águas residuais: o recurso inexplorado.**2017 Disponível em : <<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Brasilia/pdf/brz-sc-WWDR-Chap13-pt-2017-final.pdf> > . Acesso em : 25 ago. 2017

VASCONCELOS, Daniela V.; GOMES, Anderson. Tratamento de efluentes de postos de combustíveis para o reúso usando processos oxidativos avançados. **Cadernos Unifoa.** ., p. 35-46. Dez, 2009.

VASCONCELOS, Daniela V.; GOMES, Anderson. Tratamento de efluentes de postos de combustíveis para o reúso usando processos oxidativos avançados. **Cadernos Unifoa,** Volta Redonda, n. 11, p.35-46, Dezembro de 2009.

VERLICCHI, P.; AUKIDY, M. Al; ZAMBELLO, E.. What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? — An overview and a discussion on perspectives. **Science Of The Total Environment,** ., n. 514, p.467-491, 2015.

WHO - World Health Organization, Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards, Of a WHO meeting of experts. Technical report series, Geneva: n. 517, 1973.

ZAGONEL, Jéssica Talita; BUSS, Marta Veronica; MENEZES, Jean Carlo Salomé dos Santos. Avaliação da eficiência da estação de tratamento de águas residuárias de uma lavanderia de jeans. **Revista de Engenharia Civil Imed,** v. 3, n. 2, p.5-14, 2015.