



ADRIEL GOMES REPOLHO CABRAL

**APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FENTON E FOTO-FENTON SOLAR
NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE BOVINOCULTURA
DE LEITE DO IFSULDEMINAS – CÂMPUS INCONFIDENTES.**

**INCONFIDENTES – MG
2015**

ADRIEL GOMES REPOLHO CABRAL

**APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FENTON E FOTO-FENTON SOLAR
NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE BOVINOCULTURA
DE LEITE DO IFSULDEMINAS - CÂMPUS INCONFIDENTES.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do curso de Graduação Tecnológica em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Inconfidentes, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Msc.Taciano Benedito Fernandes

**INCONFIDENTES – MG
2015**

ADRIEL GOMES REPOLHO CABRAL

**APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FENTON E FOTO-FENTON SOLAR
NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE BOVINOCULTURA
DE LEITE DO IFSULDEMINAS - CÂMPUS INCONFIDENTES.**

Data de aprovação: _____ de _____ 2015

**Orientador (a): Msc. Taciano Benedito Fernandes
IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes**

**Co-orientador (a): Msc. Eduardo de Oliveira Rodrigues
IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes**

**Membro 2: Prof^a. D.ra. Ana Cristina F. M. da Silva
IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Geraldo Wagner e Maria de Fátima, que eu amo incondicionalmente. Por toda educação e princípios que me ensinaram. Não mediram esforços e sempre me apoiaram durante o curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pela dádiva da vida. Permitiu-me chegar até aqui, iluminando meu caminho e que me fez ir além, sempre presente em minha vida.

Aos meus pais, Geraldo Wagner e Maria de Fátima, meus eternos e verdadeiros amigos, companheiros e confidentes. Sempre me apoiaram e incentivaram para a realização dos meus ideais e por mais uma etapa vencida. Devo a vocês tudo que sou.

A todos os meus familiares que sempre me apoiaram e incentivaram.

A minha namorada Gabrielly que esteve ao meu lado nos momentos difíceis, sempre me apoiando a prosseguir na jornada e não deixando com que eu me desanimasse.

A todos os professores do curso Tecnologia em Gestão Ambiental, que foram importantes para o ensino do curso.

A prof^ª. Ana Cristina F. M. da Silva por aceitar o meu convite em participar da banca de defesa e pelos conhecimentos passados.

Ao meu co-orientador Eduardo de Oliveira Rodrigues, por aceitar ser o meu co-orientador, contribuindo com sua experiência e amplo conhecimento sobre o trabalho desenvolvido.

Ao meu orientador, Taciano Benedito Fernandes, que me ajudou muito no desenvolvimento e conclusão dessa monografia, sempre paciente comigo, compartilhando sua experiência e domínio do assunto para a elaboração do trabalho. O seu olhar crítico e construtivo me ajudou a superar os desafios dessa monografia. Serei eternamente grato.

RESUMO

As águas residuais geradas em bovinoculturas de leite são considerados altamente poluentes se lançados diretamente em corpos d'água sem os devidos tratamentos e ocasionam graves problemas ambientais. O tratamento de águas residuais é uma das mais importantes questões ambientais a ser considerada nesta atividade para adequar os resíduos aos padrões de lançamento estabelecidos, em Minas Gerais, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01, 05 de maio de 2008, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, para lançamento de águas residuais em corpos de água Classe II. Desta maneira, o presente estudo verificou a eficiência da aplicação dos processos oxidativos avançados, Fenton e Foto-Fenton solar, no tratamento de águas residuais geradas pela bovinocultura de leite instalada no Instituto Federal Sul de Minas - Câmpus Inconfidentes para lançamento em corpos d'água Classe II. Para determinação da eficiência da aplicação do tratamento, foram analisadas a variação de pH, a determinação de sólidos sedimentáveis, a remoção da turbidez, a demanda química de oxigênio e coliformes termotolerantes. Os resultados mostraram alta eficiência na remoção dos parâmetros analisados e, estatisticamente, não apresentaram diferença significativa entre os processos Fenton e Foto-Fenton solar, apresentado-se como alternativas para tratamento de águas residuais de bovinocultura de leite por os adequarem ao padrões de lançamento em corpos d'água Classe II.

Palavras-chave: Resíduos líquidos de bovinocultura; Processo Fenton, Processo Foto-Fenton Solar, Padrões de lançamento.

ABSTRACT

The wastewater generated in milk bovinoculturas are considered highly pollutant if released directly into water bodies without proper treatment and cause serious environmental problems. The wastewater treatment is one of the most important environmental issues to be considered in this activity to tailor the established waste discharge standards, in Minas Gerais, the Joint Normative Resolution COPAM / CERH-MG n ° 01, May 5, 2008, which provides for the classification of water bodies and environmental guidelines for its framework, for release of wastewater into water bodies Class II. Thus, the present study examined the effectiveness of the application of advanced oxidation processes, Fenton and photo-Fenton solar, in the treatment of wastewater generated by the installed dairy production in South Federal Mining Institute - Campus Inconfidentes for release in water bodies Class II. For determining the efficiency of applying the treatment were analyzed at pH variation, determining settleable solids, removal of turbidity, chemical oxygen demand and thermotolerant coliforms. The results showed high efficiency in the removal of the parameters analyzed and statistically no significant difference between the process Fenton and photo-Fenton solar, are presented as alternatives to wastewater treatment of dairy cattle for the suit the discharge standards in Class II water bodies.

Keywords: Liquid waste from cattle ; Fenton process , process photo -Fenton Manor , launch Standards.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	ix
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Atividade Leiteira no Brasil	3
2.2. UEP- Bovinocultura de leite do IFSULDEMINAS- Câmpus Inconfidentes.....	4
2.3. Geração de águas residuais e resíduos sólidos pela atividade leiteira.....	5
2.4. Processos Oxidativos Avançados.....	6
2.4.1. Processo Fenton	7
2.4.2. Processo Foto-Fenton Solar	8
2.5. Aplicação dos Processos Oxidativos Avançados.....	8
2.6. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01, 05/05/2008.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Local de coleta de águas residuais	11
3.2. Coletas amostrais	11
3.3. Procedimentos Experimentais	12
3.3.1. Processo Fenton	12
3.3.2. Processo Foto-Fenton Solar	13
3.4. Parâmetros analisados	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
4.1. Remoção de Turbidez	15
4.2. Remoção de demanda química de oxigênio.....	16
4.3. Concentração do pH.....	17
4.4. Concentração de Sólidos Sedimentáveis.....	18
4.5. Remoção de Coliformes Termotolerantes.....	18
4.6. Tratamento Estatístico.....	21
5. CONCLUSÃO.....	22
6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	23
ANEXOS	26

LISTAS DE ABREVIACOES

•OH – Radical Hidroxila

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CO₂ – Dióxido de Carbono

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

DN – Deliberação Normativa

DQO – Demanda Química de Oxigênio

E. Coli – Escherichia Coli

F – Fenton

FeSO₄ – Sulfato de Ferro

FFS – Foto-Fenton Solar

H₂O₂ – Peróxido de Hidrogênio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NMP – Número Mais Provável

pH – Potencial Hidrogeniônico

POA – Processos Oxidativos Avançados

RPM – Rotações por minuto

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UEP – Unidade Educativa de Produção

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

UV – Radiação Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

A atividade de bovinocultura de leite, no Brasil, destaca-se como crescente no complexo agroindustrial, no qual se torna uma atividade de grande importância econômica expandindo a produtividade de acordo com a exigência do mercado e dos consumidores de leite e derivados. Devido a esta expansão, grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos são gerados proporcionalmente à quantidade de animais presentes em uma bovinocultura de leite.

Normalmente, estes resíduos são compostos por urina, detergentes utilizados na limpeza, dejetos, leite, água de lavagem, alimentos, dentre outros.

As águas residuais e sólidos provenientes da atividade de bovinocultura de leite tornam-se fontes alternativas de adubação orgânica devido à alta carga fertilizante, porém, considerados altamente poluentes se expostos ao meio ambiente incorretamente. Quando o lançamento desses resíduos for inadequado, ocasionará agravantes como eutrofização de corpos d'água, propagação de vetores, contaminação do lençol freático, contaminações por agentes físicos, biológicos e químicos.

Com o objetivo de propor alternativas para uma das principais fontes de contaminação e poluição ambiental das atividades agropecuárias, adequando as águas residuais aos padrões de qualidade necessários ao lançamento em corpo d'água definido pela legislação vigente, torna-se necessário a realização do tratamento destes resíduos gerados em bovinocultura de leite.

Uma tecnologia que tem se mostrado promissora é o emprego dos Processos Oxidativos Avançados, POA's, os quais se caracterizam pela utilização de substâncias com alto poder oxidativo, peróxido de hidrogênio e sulfato de ferro, capazes de degradarem a maioria dos compostos orgânicos.

Deste modo, o presente trabalho pretende avaliar a aplicabilidade de dois processos oxidativos avançados, Fenton e Foto-Fenton Solar, em escala laboratorial, como alternativas para tratamento de águas residuais de bovinocultura de leite adequando os parâmetros

turbidez, demanda química de oxigênio, pH, coliformes termotolerantes e sólidos sedimentáveis, aos padrões de lançamento estabelecidos, no estado e Minas Gerais, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01 de 2008 para lançamento de águas residuais em corpos d' água Classe II.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Atividade Leiteira no Brasil

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de leite. A produção brasileira aumentou 5% passando de 35 bilhões de litros, em 2013, para 36,75 bilhões, em 2014. Regionalmente verificou-se que no primeiro trimestre de 2014, o sudeste foi responsável por 41,1% da aquisição nacional de leite. Minas Gerais se destaca por ser o estado líder na produção de leite, no Brasil, com aproximadamente 28% da produção nacional (IBGE, 2014).

Diante do percentual de produção para atender a demanda do mercado consumidor, a atividade leiteira destaca-se pela importância econômica e social do complexo agroindustrial do leite para o país, sendo uma importante área geradora de empregos diretos e indiretos em toda a cadeia produtiva.

Segundo Salgado (2013), embora o Brasil venha apresentando constante crescimento na produção de leite, o país sofre com aspectos limitantes afetando a produção devido à baixa capacidade de investimento, de qualidade, problemas de infraestrutura, e a existência de conflito interno entre os produtores que vivem em um ambiente competitivo, a indústria de laticínios e os fornecedores de insumos, equipamentos e máquinas.

Como consequência destes aspectos limitantes, o consumidor passou a ter acesso a produtos lácteos de todo o mundo, exigindo do comércio interno a necessidade de aumento de produtividade e melhoria da qualidade para tornar o produto brasileiro competitivo em relação a outros países, adotando rápidos ajustamentos estratégicos e estruturais do setor agroindustrial do leite.

Essas mudanças estruturais estão provocando um inevitável processo de seleção dos produtores, restando os mais eficientes, onde os pontos principais são redução de preços, com aumento da eficiência no processo de produção ao longo de toda a cadeia assim como uma melhoria da qualidade dos produtos ofertados.

2.2. UEP- Bovinocultura de leite do IFSULDEMINAS- Câmpus Inconfidentes

Na bovinocultura de leite são gerados, aproximadamente, 4 mil litros de águas residuais por dia provenientes das lavagens de suas instalações. No *freestall*, Figura 1a, galpão coberto com cama de areia para cada vaca com a finalidade de oferecer conforto animal para melhor produtividade, é ocorrido a raspagem dos dejetos e em seguida ocorre a lavagem com água. Na Figura 1b é possível a visualização da rede coletora de águas residuais no *freestall*.

Em todas as instalações de bovinocultura de leite do IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes encontra-se um sistema de canalização com a finalidade de conduzir os resíduos para Estação de Tratamento de Esgoto.



Figura 1a: Freestall – Bovinocultura de leite. IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. Fonte: elaboração própria.



Figura 1b: Freestall – Bovinocultura de leite. IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. Fonte: elaboração própria.

No curral de espera, Figuras 2 a e 2b, onde as vacas permanecem antes de serem ordenhadas, ocorre a geração de águas residuais e sólidos devido aos dejetos, alimentação e água fornecida para os animais além do mesmo processo de limpeza que ocorre no *freestall*.



Figura 2a: Curral de espera - Bovinocultura de leite. IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. Fonte: elaboração própria.

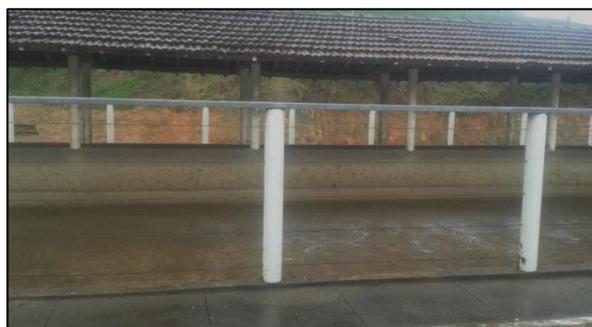


Figura 2b: Curral de espera – Bovinocultura de leite. IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. Fonte: elaboração própria.

A UEP – Bovinocultura de leite conta com uma ordenhadeira com extração automática com sistema do tipo tandem, conhecida popularmente como espinha de peixe, Figura 3a, para ordenhar os animais, no qual o leite é direcionado para a sala de refrigeração através de tubulações. Na sala de ordenha, as águas residuais e sólidos gerados são compostos de dejetos, urina, leite, pelos, soluções desinfetantes e sanitizantes. Na sala de refrigeração, Figura 3b, as águas residuais são produzidos através da lavagem da instalação e equipamentos.



Figura 3a: Sala de Ordenha – Bovinocultura de leite – IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. Fonte: elaboração própria.



Figura 3b: Sala de refrigeração – Bovinocultura de leite – IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. Fonte: elaboração própria.

2.3. Geração de águas residuais e resíduos sólidos pela atividade leiteira

De acordo com a escala de produção, as atividades desenvolvidas em bovinocultura de leite causam modificações biológicas, físicas e químicas no ambiente. Com o propósito de manter a produção animal, o grande desafio é atender a demanda da população adequando-a à sustentabilidade ambiental.

A quantidade de águas residuais e resíduos sólidos provenientes das instalações de bovinocultura de leite é dependente das práticas aplicadas pelos produtores. As atividades desenvolvidas no ambiente de trabalho interferem diretamente na qualidade dos resíduos, como número de ordenhas diárias e vacas ordenhadas, o volume de água utilizado na limpeza e desinfecção das instalações e equipamentos da unidade de produção.

Silva et al (2010), afirmam que os resíduos sólidos e líquidos gerados nos confinamentos dos animais variam de 9% a 12% do peso vivo do rebanho por dia. São gastos em média 50 litros de água por vaca/dia, podendo estender o consumo se não houver uma gestão do uso da água. O que torna essencial a adoção de métodos para o tratamento de resíduos de origem bovina.

As águas residuais e resíduos sólidos provenientes das instalações de bovinocultura de leite são compostos de água de lavagem, dejetos (fezes e urina) de animais, leite, produtos de limpeza, alimentação dos bovinos, células mortas e pelos, tornando as concentrações de contaminantes presentes nesses resíduos mais elevadas, quando comparados com esgoto doméstico.

Os principais métodos para tratamento de resíduos agroindustriais são os sistemas de lagoa de estabilização, os sistemas de lodos ativados, os sistemas anaeróbios (como os filtros anaeróbios e os reatores UASB), os sistemas wetlands construídos e os biodigestores. Dentre várias alternativas utilizadas para o tratamento de águas residuais e resíduos sólidos resultantes das atividades de bovinocultura de leite utiliza-se também os processos oxidativos avançados.

2.4. Processos Oxidativos Avançados

Os Processos Oxidativos Avançados são técnicas de degradação oxidativa nas quais ocorre a produção de espécies altamente reativas, radical hidroxila, que são capazes de oxidar parcial ou totalmente a matéria orgânica. Vêm se destacando pela capacidade de produzir mudanças significativas na estrutura do poluente.

Os POA's são baseados em processos físico-químicos definidos como processos envolvendo a geração e uso *in situ* de agentes oxidantes fortes como o radical hidroxila, que possui propriedades específicas tornando-o apto a reagir com compostos orgânicos promover a sua completa mineralização em CO₂, água e ácidos minerais, ou na conversão em produtos menos agressivos ou biodegradáveis, conforme dito por Teixeira et al (2004).

Dantas (2005), descreve que os POA's são considerados promissores para remoção de poluentes refratários de águas residuais e sólidos quando os processos convencionais, especialmente os processos biológicos, não são eficientes para atender as exigências de remoção de determinado parâmetro. Existem vários tipos de processos oxidativos avançados, dentre eles o processo Fenton, Foto-Fenton solar, Ozonólise, Fotólise, Fotocatálise.

Para realização dos processos oxidativos avançados Fenton e Foto-Fenton solar, utiliza-se dois reagentes químicos, peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e sulfato de ferro (FeSO₄) e presença de radiação ultravioleta.

De acordo com Ruas (2008), Peróxido de hidrogênio é um dos oxidantes mais versáteis que existe, superior ao dióxido de cloro, cloro, e permanganato de potássio. Através

de catálise, o H_2O_2 pode ser convertido em radical hidroxila. Tem sido utilizado há muitos anos nos tratamentos de resíduos industriais e de águas para abastecimento.

Ruas (2008) afirma, apesar do poder de reação, o peróxido de hidrogênio é um metabólico natural em muitos organismos, o qual, quando decomposto, resulta em oxigênio molecular e água. Deve ser aplicado na medida correta, aplicado em excesso o peróxido de hidrogênio causa efeito inibitório na degradação dos poluentes devido o procedimento de capturar os radicais hidroxila.

Também chamado sulfato ferroso, o sulfato de ferro é mais comumente encontrado como o hepta-hidratado de cor verde-azulado e tem sua fórmula como FeSO_4 . É o agente químico responsável por catalisar a decomposição do peróxido de hidrogênio.

Lange et al (2006), explicam que o pH estando próximo a 3, o Sulfato de Ferro no meio aquoso se torna mais eficiente para catalisar a decomposição do peróxido de hidrogênio.

2.4.1. Processo Fenton

Dentre os processos oxidativos avançados conhecidos, destaca-se o processo Fenton. Esse processo teve início em 1968, quando Henry John Horstman Fenton descreveu que o peróxido de hidrogênio poderia ser ativado por íons férricos na oxidação do ácido tartárico.

Teixeira (2004) relata que, na reação de Fenton o Fe^{2+} reage com o H_2O_2 e aumentam a velocidade de reação para decomposição do peróxido de hidrogênio, em meio ácido, gerando radical hidroxila, extremamente reativo, capaz de oxidar efetivamente grande parte da matéria orgânica presente em águas residuais em uma demanda de tempo de apenas alguns minutos, o que o torna interessante à remediação de resíduos.

Segundo Ragasson (2013), dentre os vários processos oxidativos avançados, o processo de Fenton tem sido o mais empregado devido ao menor custo, simplicidade do processo, boa reatividade com compostos orgânicos e não produz compostos tóxicos durante a oxidação dos resíduos.

Uma das grandes limitações dos processos Fenton é a estreita faixa de pH de maior eficiência de reação. Embora apresentem maior eficiência em valores de pH entre 2,5 e 3,0, a viabilidade da reação ainda pode ser observada em valores de pH próximos a 5,0 ou maiores.

Sua reação ocorre da seguinte maneira:

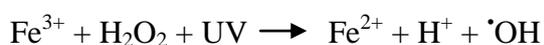


2.4.2. Processo Foto-Fenton Solar

O processo Foto-Fenton solar foi iniciado na década de 50, na qual houve a oxidação de compostos orgânicos na presença de H₂O₂ e íons férricos sob radiação solar ultravioleta em meio ácido, presumindo que a transferência eletrônica iniciada pela irradiação resultava na geração de radical hidroxila, responsáveis pelas reações de oxidação (Nogueira et al, 2007).

Segundo Silva et al (2009), afirmam que no processo Foto-Fenton solar, a velocidade de degradação de poluentes pode ser aumentada devido ao ataque direto à matéria orgânica por intermediários de ferro de maior valência. Com a utilização da radiação solar para aumentar a eficiência de degradação, os íons férricos formados durante a decomposição do H₂O₂, são hidrolisados formando hidroxí complexos. A radiação destas espécies na região do ultravioleta produz Fe²⁺, que pode ser novamente consumido na reação de Fenton.

Silva (2006), o processo Foto-Fenton Solar é um POA que tem recebido atenção crescente nos últimos anos devido à maior eficiência quando comparado ao processo Fenton. A foto-redução do Fe⁺³ a Fe⁺² é considerada como responsável pelo aumento do efeito oxidativo do processo. Em um processo cíclico, o Fe⁺² regenerado reage novamente com o peróxido de hidrogênio, além de ocorrer a geração adicional do radical hidroxila, como apresentado a seguir.



2.5. Aplicação dos Processos Oxidativos Avançados

De acordo com pesquisa realizada por Ragasson (2013), onde foi desenvolvido estudo para verificação da possibilidade de tratamento do lixiviado do Aterro Sanitário empregando reagente Fenton para mineralização da matéria orgânica, a remoção de DQO apresentou uma eficiência de 72%.

Em estudo realizado por Campos et al (2014), com o objetivo de tratar resíduo proveniente de lavanderia têxtil utilizando sistemas de coagulação/floculação e Fenton, obteve remoção de 64% de matéria orgânica, 29% de turbidez no processo coagulação/floculação. Enquanto no processo Fenton apresentou redução de matéria orgânica na faixa de 85% e redução de turbidez de 97%.

Silva (2009), desenvolveu uma pesquisa utilizando o processo Foto-Fenton Solar para reduzir a toxicidade gerada em campos de petróleo, onde encontrou pH de 2,57, e Sacamoto (2014), avaliou a aplicação dos processos Fenton e Foto-Fenton Solar para efluente sintético

contendo o amoxicilina onde encontrou pH de 2,97 e 3,26. Ambos precisaram corrigir o pH e remover o excesso de íons férricos.

Lopes (2011), desenvolveu um estudo verificando a aplicabilidade de um resíduo químico proveniente da mineração de carvão como insumo para a reação do processo Fenton aplicado ao tratamento de esgoto sanitário de uma instituição de ensino superior, obtendo eficiências médias de redução de 78% de sólidos suspensos; 99,98% de coliformes termotolerantes; 80% de DQO e 50% de sólidos sedimentáveis.

Estudo desenvolvido por Halasz et al (2012), avaliou-se o desempenho de três técnicas de tratamento, dentre eles o tratamento com coagulação e sedimentação seguido de processo Fenton, aplicados na remediação de resíduos têxteis. Alcançou-se após o tratamento os percentuais médios de remoção de 93% para sólidos sedimentáveis, 75% para DQO e 97% para turbidez.

2.6. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01, 05/05/2008

No estado de Minas Gerais, a legislação pertinente ao lançamento de águas residuais em corpos d'água é a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01, de 05 de maio de 2008, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de águas residuais, e dá outras providências (COPAM, 2008).

De acordo com o Artigo 3º, as águas doces estaduais são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes e as condições ambientais dos corpos de água, em cinco classes de qualidade. Em Minas Gerais não há enquadramento para os cursos d'água, portanto, o Rio Mogi-Guaçu é considerado como de Classe II de acordo com o capítulo VI, no artigo 37 que atesta:

“Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas Classe II, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente”.

De acordo com o Artigo 4º, na Classe II as águas podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 29 de novembro de 2000.

- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

Conforme declarado no Artigo 14, estão descritos as condições e padrões estabelecidos pela Deliberação Normativa de acordo com os parâmetros analisados:

- Turbidez- Até 100 Unidades Nefelométricas de Turbidez;
- Coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA n° 274, de 29 de novembro 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com os mesmos limites.
- pH: 6,0 a 9,0;
- DQO: até 180 mg/L.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de coleta de águas residuais

As águas residuais utilizadas neste estudo foram coletadas junto à primeira etapa da estação de tratamento de esgoto, as caixas de retenção de sólidos grosseiros, da unidade educativa de produção - bovinocultura de leite do IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes.

Os resíduos gerados nas instalações da bovinocultura de leite, são encaminhados para as caixas de retenção de sólidos grosseiros através de uma canalização, onde foi possível coletar as águas residuais no momento em que era lançado na estação de tratamento de esgoto.

3.2. Coletas amostrais

Para a realização das coletas amostrais foram seguidas as instruções contidas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2012).

No ponto de amostragem, Figura 6, foram coletados 4,5 litros manual e diretamente da canalização que conduz o resíduo bruto para as caixas de separação dos sólidos e líquidos, em garrafas plásticas com capacidade de 1 litro cada previamente higienizadas e esterilizadas em vapor fluente, dos quais foram homogeneizados antes da realização das análises. Quatro amostras foram coletadas às 6:00 horas da manhã devido às atividades desenvolvidas na bovinocultura começarem neste mesmo horário e representarem maior pico de produção.

A realização das coletas ocorreu nos dias 04, 11, 18 e 25 de março sem a presença de precipitações. Foram 3 litros destinados para análise de sólidos sedimentáveis dos quais 1 litro destinou-se à verificação no resíduo bruto e 1 litro para o processo Fenton e 1 litro para processo Foto-Fenton Solar. Foram separados 1,5 litros do resíduo líquido destinados à

realização das outras análises de pH, Demanda Química de Oxigênio, turbidez e coliformes termotolerantes.



Figura 6: Local de coleta das amostras. Bovinocultura de leite, IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. Fonte: elaboração própria..

3.3. Procedimentos Experimentais

O presente trabalho foi desenvolvido em escala laboratorial, afim de gerar resultados sobre os processos oxidativos avançados aplicados em amostragens, para possíveis projetos de instalações maiores.

3.3.1. Processo Fenton

Com o auxílio de uma proveta graduada de 1000 ml foram medidos 999,0 ml do resíduo líquido previamente homogeneizado. O resíduo medido foi transferido para um Becker de 1000 ml e direcionado ao agitador magnético. Em seguida foram adicionados 2,698 g de Sulfato de Ferro onde permaneceu sob agitação por 1 minuto, decorrido este tempo adicionou-se 1 ml de solução de Peróxido de Hidrogênio a 30% e agitou-se por mais 1 minuto. Logo em seguida, o resíduo foi transferido para um cone Imhoff seguindo os procedimentos padrões para análise de sólidos sedimentáveis.

Para a realização de análises dos parâmetros pH, Demanda Química de Oxigênio, turbidez e Coliformes Termotolerantes foram separados 499,5 ml do resíduo líquido em um Becker de 500 ml e direcionado ao agitador magnético, adicionando 1,349 g de Sulfato de Ferro com a mesma rotação 10 RPM e tempo de 1 minuto para mistura do reagente químico. Em seguida foi incorporado 0,5 ml de Solução de Peróxido de Hidrogênio a 30% e foi agitado

por 1 minuto novamente. Durante os procedimentos experimentais os recipientes, cone de Imhoff e becker, foram conduzidos para uma sala do laboratório sem a interferência de energia solar ou influência de luz ultravioleta, onde permaneceram por um período de 3 horas.

3.3.2. Processo Foto-Fenton Solar

Para o processo Foto-Fenton Solar, o procedimento experimental foi o mesmo adotado no processo Fenton. O resíduo líquido foi transferido para um Becker de 500 ml, Figura 7a, e para um cone de Imhoff, Figura 7b, sendo encaminhados ao pátio do laboratório de microbiologia, onde permaneceu das 10:00 às 13:00 horas para receber radiação solar ultravioleta, devido a maior incidência dos raios solares.

Após o procedimento experimental, foi realizada a análise de pH onde verificou-se o valor de 3,5, necessitando de um ajuste para realização das análises referentes aos outros parâmetros. O reagente químico utilizado para o ajuste do pH foi o Hidróxido de Sódio em quantidade suficiente para o ajuste.



Figura 7a: Resíduo líquido bruto em becker de 500 ml. Fonte: elaboração própria.



Figura 7b: Resíduo líquido bruto de repouso em cone Imhoff. Fonte: elaboração própria.

3.4. Parâmetros analisados

Os parâmetros analisados bem como os métodos adotados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros analisados e seus respectivos métodos analíticos.

Parâmetro	Método Analítico
Sólidos Sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	Sólidos sedimentáveis 2540D. Standard Methods 20ed. (APHA, 1998).
Potencial Hidrogeniônico	Método 4500 H + B. Método Eletrométrico. Standard Methods 20ed. (APHA, 1998).
Demanda Química de Oxigênio (mg.L ⁻¹)	Método colorimétrico com refluxo fechado. Standard Methods 20 ed. (APHA, 1998).
Turbidez	Método nefelométrico usando turbidímetro plus microprocessador digital da marca Alfa KIT calibrado.
Coliformes Termotolerantes	Técnica dos Tubos Múltiplos, Número Mais Provável. Instrução Normativa n° 62, adaptado (MAPA, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor entendimento da discussão, os resultados obtidos estão dispostos através de gráficos e Tabelas:

4.1. Remoção de Turbidez

O valor em porcentagem de remoção de Turbidez mediante aplicação dos processos oxidativos avançados Fenton e Foto-Fenton Solar podem ser verificados na Figura 8.

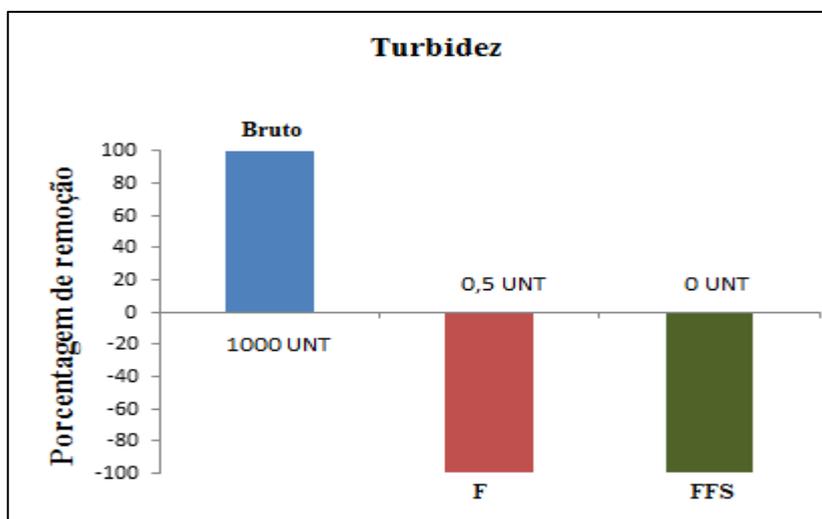


Figura 8: Valores para o parâmetro Turbidez. Fonte: elaboração própria.

Observam-se que, após a aplicação dos processos oxidativos avançados Fenton e Foto-Fenton Solar no resíduo bruto com turbidez inicial 1000 UNT, (Unidades Nefelométricas de Turbidez), os valores de remoção de turbidez encontrados, de 99,95 % no processo Fenton, 0,5 UNT, e de 100% no proceso Foto-Fenton solar, 0 UNT, estão de acordo com o limite estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°01, 05 de maio de 2008, para lançamento de águas residuais em corpo d'água enquadrado em Classe II.

O processo Foto-Fenton Solar obteve eficiência pouco melhor do que com o processo Fenton, no entanto, a diferença da taxa de remoção foi insignificante estatisticamente entre ambos os processos.

Os valores de remoção, em percentuais, estão consideravelmente próximos aos encontrados por Campos (2014), 97% de remoção aplicando processo fenton no tratamento de resíduo proveniente de lavanderia têxtil.

4.2. Remoção de demanda química de oxigênio

Em relação ao parâmetro DQO, observa-se, na Figura 9, que, percentualmente, os valores de remoção foram próximos nos dois processos oxidativos avançados Fenton e Foto-Fenton solar.

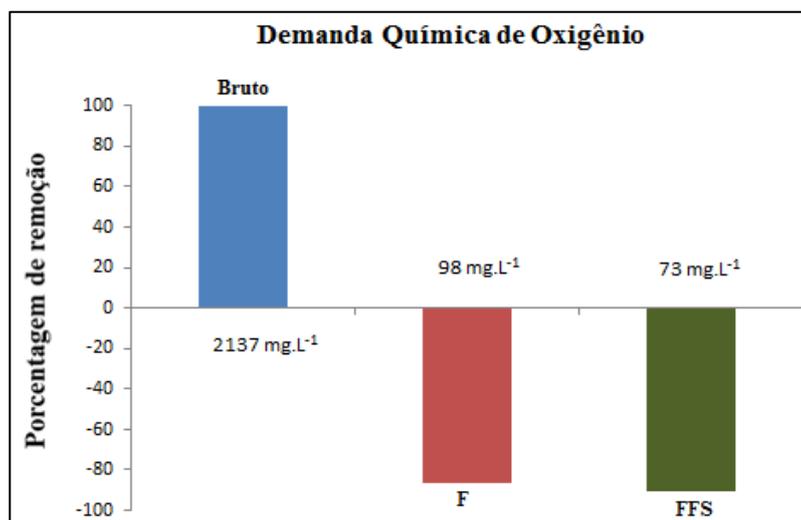


Figura 9: Valores para o parâmetro DQO. Fonte: elaboração própria.

Após aplicação dos processos oxidativos avançados obteve-se remoção de 91,73% para o processo Fenton e 91,35% para o processo Foto-Fenton Solar. Ao confrontar os resultados encontrados com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°01, 05 de maio de 2008, verificou-se que as águas residuais provenientes de bovinocultura de leite da UEP do IFSULDEMINAS - Câmpus Inconfidentes podem ser lançadas em corpo d'água enquadrado como Classe II, pois o limite estabelecido é de 180 mg.L⁻¹. Nos dois processos oxidativos avançados, Fenton e Foto-Fenton Solar, apresentaram concentração final de 98 mg.L⁻¹ e 73 mg.L⁻¹, respectivamente, de uma concentração inicial de 2137 mg.L⁻¹ da água residual bruta.

Em relação a remoção de DQO os processos Fenton e Foto-Fenton Solar apresentaram 91,73% e 91,35%, respectivamente. Comparando estes valores com pesquisas realizadas por Ragasson (2013), onde a remoção foi de 72% no tratamento do lixiviado de aterro sanitário

utilizando o processo Fenton, e por Campos et al (2014), onde utilizaram o processo Foto-Fenton Solar como tratamento de lixiviado proveniente de dois aterros sanitários, com resultados de 88% e 78% de remoção de DQO, os processos empregados nesta pesquisa apresentaram resultados próximos, o que indica boa eficiência dos tratamentos.

4.3. Concentração do pH

Dentre os parâmetros analisados, o pH foi o único que apresentou-se fora do limite estabelecido nos padrões de lançamento de resíduo líquido em corpo d'água Classe II, como mostra na Figura 10.

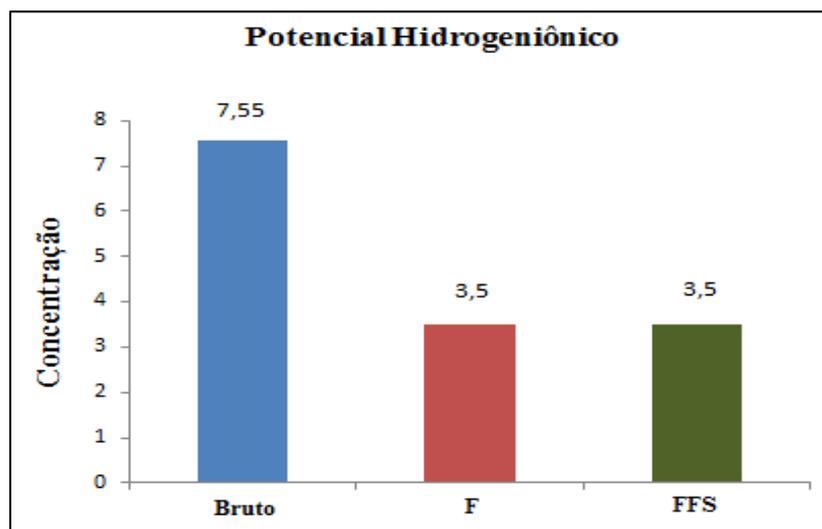


Figura 10: Valores para o parâmetro pH. Fonte: elaboração própria.

De acordo com o referido na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°01, 05 de maio de 2008 o valor obtido de pH de ambos processos oxidativos avançados apresentaram-se abaixo da faixa compreendida entre 6 a 9, descartando, inicialmente, a possibilidade de lançamento em corpo d'água Classe II.

Valor baixo de pH foi relatado por Silva (2009), com o objetivo de reduzir a toxicidade gerada em campos de petróleo, utilizando o processo Foto-Fenton Solar onde alcançou pH de 2,57.

Porém, para a realização das análises referentes aos outros parâmetros foi necessária a neutralização do pH de ambos processos, Fenton e Foto-Fenton Solar, o que possibilitaria o lançamento desses resíduos em corpos d'água Classe II, uma vez que o pH encontrado foi 7,0, o que está compreendido entre a faixa estabelecida pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°01, 05 de maio de 2008.

4.4. Concentração de Sólidos Sedimentáveis

De acordo com a análise realizada, estão representados na Figura 11 os resultados dos sólidos sedimentáveis do resíduo bruto, e após os processos oxidativos avançados.

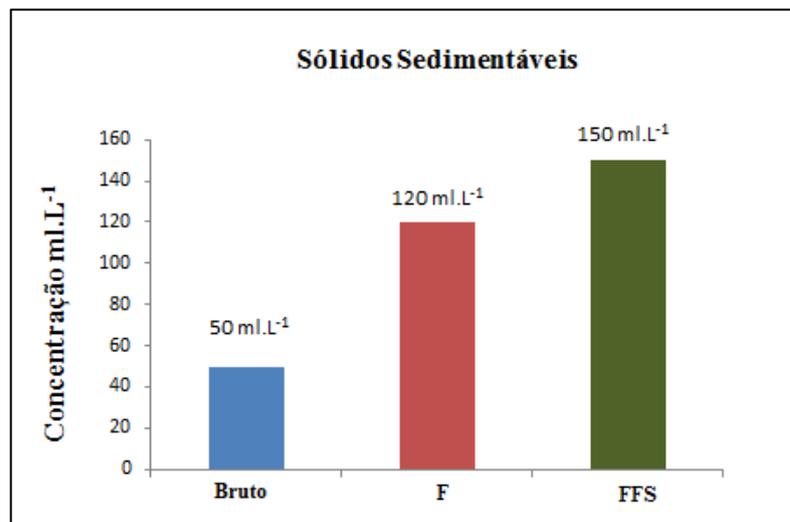


Figura 11: Valores para o parâmetro Sólidos Sedimentáveis.
Fonte: elaboração própria..

Conforme a figura acima entende-se que a quantidade dos sólidos sedimentáveis aumentaram de acordo com os tratamentos efetuados, mostrando que o processo Foto-Fenton solar, 150 ml.L⁻¹, foi mais eficiente do que o processo Fenton 120 ml.L⁻¹. Porém, os valores alcançados por ambos processos estão de acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°01, 05 de maio de 2008, para lançamento de resíduo líquido em corpo d'água Classe II.

De acordo com estudo desenvolvido por Halasz et al (2012), em relação ao desempenho de três técnicas de tratamento, dentre eles o tratamento com coagulação e sedimentação seguido de processo fenton, aplicados na remediação de resíduos têxteis alcançaram, após o tratamento, percentual médio de remoção foi de 93% para sólidos sedimentáveis.

4.5. Remoção de Coliformes Termotolerantes

Após a realização da análise de coliformes termotolerantes, o percentual de remoção foi apresentado abaixo, na figura 12.

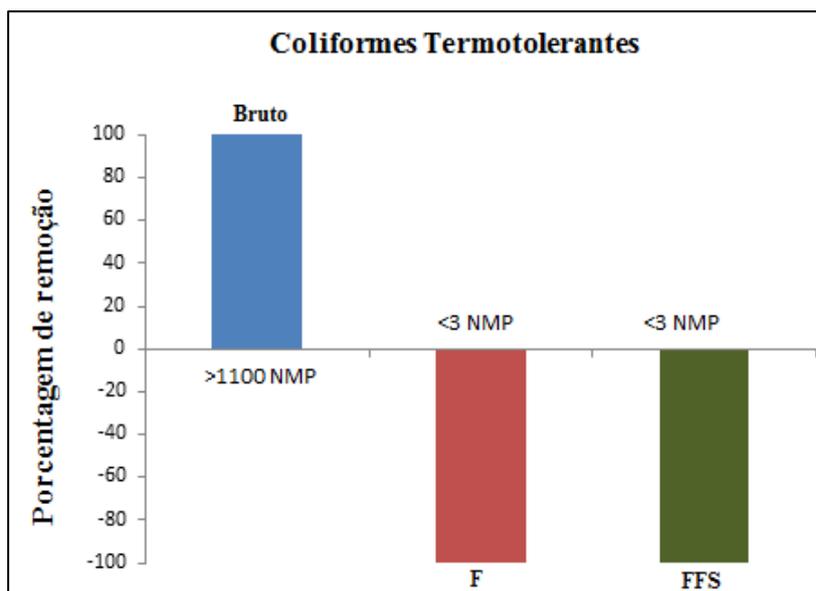


Figura 12: Valores para o parâmetro Coliformes Termotolerantes. Fonte: elaboração própria.

Diante dos valores obtidos nas análises microbiológicas, os resultados apresentaram-se abaixo do estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01, 05 de maio de 2008, 1000 NMP/100 ml de amostra. Em ambos processos foram encontrados o mesmo valor, <3,0 NMP/100 ml de amostra, o que apresenta a eficiência de remoção de coliformes e a consequente adequação das águas residuais ao lançamento de resíduo líquido em corpo d'água para Classe II.

Lopes (2011), desenvolveu um estudo verificando a aplicabilidade de resíduo químico proveniente da mineração de carvão como insumo para a reação do processo Fenton aplicado ao tratamento de esgoto sanitário de uma instituição de ensino superior, e obteve redução de 99,98% de organismos do grupo coliformes termotolerantes, próximos aos encontrados neste estudo.

Na Tabela 2 estão confrontados os resultados dos parâmetros analisados com o estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01, 05 de maio de 2008. Na Figura 13 é possível a visualização das águas residuais brutas e após a aplicação dos processos Fenton e Foto-Fenton solar e na Figura 14, a determinação dos sólidos sedimentáveis.

Tabela 2: Valores médios dos parâmetros analisados em amostras tratadas pelos processos Fenton e Foto- Fenton Solar.

Parâmetros analisados	Resíduo Bruto	Processo Fenton	Processo Foto-Fenton Solar	% de Remoção		Valores estabelecidos pela DN n° 01/2008
				F	FF	
pH	7,55	3,5	3,5	-	-	6,0 a 9,0
Turbidez	1000	0,5	0	99,95	100	100 UNT
Coliformes Termotolerantes	>1100	<3	<3	99	99	1000 NMP/100 ml
DQO mg.L ⁻¹	2137	88,3	92,3	91,73	91,35	180 mg.L ⁻¹



Figura 13: Resíduo líquido bruto e resíduo líquido após a aplicação dos processos Fenton e Foto-Fenton solar em becker de 500 ml. Fonte: elaboração própria



Figura 14: Processo Fenton, Resíduo líquido bruto e processo Foto-Fenton solar de repouso em cone Imhoff. Fonte: elaboração própria.

4.6. Tratamento Estatístico

Foi utilizado o *software Microsoft Excel 2010* para processar os dados, utilizando a ferramenta “Teste F: duas amostras para variâncias” como tratamento estatístico, onde foi calculado a variância das médias das análises realizadas nos dois processos oxidativos, obtendo um valor estatístico para cada parâmetro. Quanto mais próximo de 1, valor padrão, estatisticamente os valores dos tratamentos oxidativos Fenton e Foto-Fenton Solar apresentam ser próximos, não apresenta diferença significativa entre os resultados. O tratamento com os dois processos oxidativos levaram em consideração 5% de nível de significância e 95% de probabilidade.

5. CONCLUSÃO

Os valores de pH apresentaram-se abaixo do limite inferior estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº01, 05 de maio de 2008, considerando-se pH ácido, portanto seria necessária a neutralização ou ajuste antes do descarte do resíduo. Contudo, pelos resultados obtidos nas amostras tratadas pelos processos oxidativos avançados Fenton e Foto-Fenton Solar conclui-se que os mesmos podem ser aplicados como alternativa para o tratamento de águas residuais provenientes de bovinocultura de leite, por apresentarem eficiência na remoção dos parâmetros analisados, turbidez, demanda química de oxigênio, pH, coliformes termotolerantes e sólidos sedimentáveis e adequarem os resíduos aos padrões de lançamento em corpos d'água Classe II estabelecidos, no estado de Minas Gerais, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01, 05 de maio de 2008.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALMEIDA, Jaqueline Colvarade. **Avaliação do Índice de Qualidade da Água na Lagoa dos Patos**. 2013. 51 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Pelotas Centro de Engenharias, Pelotas, 2013. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2013/10/TCC-JAQUELINE-ALMEIDA.pdf>. Acesso em: março de 2015.

CAMPOS, Victor Marques; BRITO, Núbia Natália de. **Tratamento de Efluente Têxtil Utilizando Coagulação/Floculação e Fenton**. 2014. 7 f. Artigo Técnico (Revista Química Industrial) - Curso de Engenharia Química, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2014. Disponível em: <http://www.abq.org.br/rqi/2014/743/RQI-743-pagina11-tratamento-de-efluente-textil-utilizando-coagulacao-floculacao-e-fenton.pdf>. Acesso em: março de 2015.

CETESB, COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO E CONTROLE DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>. Acesso em: março de 2015.

COPAM, CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de resíduos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>. Acesso em: março de 2015.

DANTAS, Tirzhá Lins Porto. **Decomposição de peróxido de hidrogênio em um catalisador híbrido e oxidação avançada de efluente têxtil por reagente fenton modificado**. 2005. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106571/303782.pdf?sequence=1>. Acesso em: março de 2015.

HALASZ, Marcos Roberto Teixeira; TOSATO JUNIOR, José Carlos. **Processos oxidativos avançados e físico-químicos aplicados na remediação de efluentes têxteis**. 2012. 8 v. Artigo Científico (Dissertação) - Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, 2012. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012a/ambientais/processos.pdf>. Acesso em: março de 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE. Estatísticas da Produção Pecuária, junho de 2013. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201401_publ_completa.pdf. Acesso em: março de 2015.

LANGE, Liséte Celina; ALVES, Juliana Felisberto; AMARAL, Miriam Cristina Santos; JÚNIOR, Wilson Rodrigues de Melo. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton**. 2006. 11 v. Artigo Técnico (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1413-41522006000200011&script=sci_arttext. Acesso em: março de 2015.

LOPES, Fabrício Abella. **Drenagem ácida de minas concentrada como fonte de ferro para a coagulação e para a reação de fenton: aplicações no tratamento de esgoto sanitário de uma instituição de ensino superior**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Área de Concentração: Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa, Ministério da Educação Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/38709/000823603.pdf?sequence=1>. Acesso em: março de 2015.

NOGUEIRA, Raquel F. Pupo; TROVÓ, Alam G; SILVA, Milady Renata A. da; VILLA, Ricardo D.; OLIVEIRA, Mirela C. de. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-fenton**. 2007. 30v. Artigo Científico (Revista Química Nova). Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000200030. Acesso em: março de 2015.

RAGASSON, Marcela Kunzler. **Aplicação do Reagente Fenton no tratamento de lixiviado de aterros sanitários**. 2013. 22 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mba em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental, IPOG, Novo Hamburgo, 2013. Disponível em: <http://www.ipog.edu.br/uploads/arquivos/d1ec369d9729ed6a2d777a8943d45ba6.pdf>. Acesso em: março de 2015.

RUAS, Diego Botelho. **Aplicação do processo oxidativo avançado H₂O₂/UV como pós-tratamento de reator anaeróbio em efluentes de indústrias de celulose Kraft branqueada**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: file:///C:/Users/Camile/Downloads/Dissertacao_Diego.pdf. Acesso em: março de 2015.

SACAMOTO, Peterson Henrique. **Avaliação dos processos Fenton e FotoFenton aplicado no tratamento de um efluente sintético contendo o antibiótico Amoxicilina**. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias, Ribeirão Preto SP, 2014. Disponível em:

<http://www.unaerp.br/index.php/documentos/1436-peterson-henrique-sacamoto/file>. Acesso em: março de 2015.

SALGADO, Francisco Marcos Macedo. **O FUTURO DO LEITE NO BRASIL: Uma análise de ambiente da cadeia produtiva de lácteos**. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: https://www.google.com.br/?gws_rd=ssl#q=SALGADO+2013+producao+de+leite. Acesso em: março de 2015.

SILVA, Douglas do Nascimento; NETO, Alcivan Almeida Evangelista; CUNHA, Gabriela Miranda de Assis; FILHO, Osvaldo Chiavone; NASCIMENTO, Cláudio Augusto Oller. **Processo foto-fenton aplicado ao tratamento de águas produzidas em campos de petróleo**. 2009. 14 v. 8 f. Artigo Científico (Revista Brasileira de Ciências Ambientais). Disponível em: http://www.rbciamb.com.br/images/online/RBCIAMB-N14-Dez-2009-Materia01_artigos216.pdf. Acesso em: março de 2015.

SILVA, Edu M. da; ROSTON, Denis M.. **Tratamento de efluentes de sala de ordenha de bovinocultura: Lagoas de estabilização seguidas de leito Cultivado**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Unicamp- Campinas- SP, Jaboticabal, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a07v30n1.pdf>. Acesso em: março de 2015.

SILVA, C. E.; LANGE,L.C.; AMARAL,C.S.; ARTHUZO,P.P. **Aplicação dos processos Fenton e Foto-Fenton no tratamento de percolados de aterros sanitários**. 2006. 8 f. Artigo Científico- 1- Departamento de Hidráulica e Saneamento – Universidade Federal de Santa Maria. 2- Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/2006-CObeg.pdf>. Acesso em: março de 2015.

TEIXEIRA, Cláudia Poli de Almeida Barêa; JARDIM, Wilson de Figueiredo. **Processos Oxidativos Avançados**. 2004. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Laboratório de Química Ambiental, Universidade Estadual de Campinas- Unicamp, Campinas, 2004. Disponível em: <http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf>. Acesso em: março de 2015.

ANEXOS

Nas Tabelas 3, 4 e 5 estão apresentados os resultados dos tratamentos estatísticos empregados.

Tabela 3: Teste-F: duas amostras para variâncias, verificação da diferença estatística para parâmetro DQO.

Demanda Química de Oxigênio		
Teste-F: duas amostras para variâncias		
	Fenton	Foto Fenton Solar
Média	88,295	92,31
Variância	1,9881	1,9044
Observações	4	4
gl	3	3
F		1,04395
P(F<=f) uni-caudal		0,48631
F crítico uni-caudal		9,27663

Tabela 4: Teste-F: duas amostras para variâncias, verificação da diferença estatística para parâmetro Sólidos Sedimentáveis.

Sólidos Sedimentáveis		
Teste-F: duas amostras para variâncias		
	Fenton	Foto Fenton Solar
Média	124,5	151,75
Variância	13,6667	7,5833
Observações	4	4
gl	3	3
F		1,80220
P(F<=f) uni-caudal		0,32027
F crítico uni-caudal		9,27663

Tabela 5: Teste-F: duas amostras para variâncias, verificação da diferença estatística para parâmetro Turbidez.

Turbidez		
Teste-F: duas amostras para variâncias		
	Fenton	Foto Fenton Solar
Média	0,63	0,33
Variância	0,06	0,05
Observações	4,00	4,00
gl	3,00	3,00
F		1,27119
P(F<=f) uni-caudal		0,42417
F crítico uni-caudal		9,27663