

TECNOLOGIAS AMBIENTAIS NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL DA INDÚSTRIA DE CARNE BOVINA

DÉBORA OLIVEIRA DE SOUZA
CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

MARIA TEREZA SARAIVA DE SOUZA
CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

TECNOLOGIAS AMBIENTAIS NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL DA INDÚSTRIA DE CARNE BOVINA

1 INTRODUÇÃO

A indústria de processamento de carne é uma das maiores consumidoras de água doce entre processamento de alimentos e bebidas (SENA et al., 2009), gerando um valor significativo com cerca de 2.000 m³ de águas residuais, o que representa 2.500 animais abatidos diariamente (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015). A água tem sido um desafio operacional e uma oportunidade para o crescimento da indústria de carne (DJEKIC et al., 2015). O setor de carne apresenta uma das principais fontes da poluição orgânica que conduz em larga medida à degradação do meio ambiente (BOHDZIEWICZ; SROKA, 2005; CHINDE et al., 2014).

A produção de carne bovina é considerada de alto impacto ambiental em comparação com outros tipos de carne, como a indústria de suínos e aves (WEBER; MATTHEWS, 2008; RÖÖS et al., 2013) e outras atividades agroindustrial (PETERS et al., 2010). As questões ambientais mais significativas em relação à indústria de processamento de carne estão relacionadas à água, como: o alto consumo, a emissão de águas residuais de alta resistência orgânica, a emissão de odores para o ar e a mortes de animais aquáticos (MANIOS et al., 2003). Os incentivos para o uso de tecnologias que minimizem o consumo da água – incluindo o uso das águas residuais e o reuso de águas tratadas – representam uma economia de custos e uma menor dependência dos recursos hídricos (FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2013).

Nos países em desenvolvimento, as águas residuais dos abatedouros são frequentemente lançadas nos rios e lagos sem nenhum tratamento, causando sérios problemas ambientais (AHMADIAN et al., 2012). A descarga de águas residuais da indústria de carne pode causar a desoxigenação dos rios e a contaminação das águas subterrâneas, por isso é classificada com uma das mais prejudiciais ao meio ambiente pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - US EPA (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015).

Indústrias de processamento de carne com baixo nível de boas práticas de higiene geralmente não têm descarga controlada de sangue em águas residuais e são descartados de maneira incorreta, causando impactos ambientais negativos (DJEKIC, 2015). E ainda, práticas inseguras em relação ao tratamento da água e saneamento nas indústrias de carne ocasionam maior número de morte por doenças em todo mundo, do que os relatos de mortes em conflitos de guerra (GLEICK; PACIFIC INSTITUTE FOR STUDIES IN DEVELOPMENT, ENVIRONMENT AND SECURITY, 2002). Um quarto da população não possui água potável e utilizam em suas atividades diárias água contaminada pelos resíduos originados destas indústrias (DJEKIC, 2015; MINTZ et al, 2001; DUDGEON et al, 2006).

A água residual de abatedouros é uma das principais preocupações do setor agroindustrial, devido à grande quantidade de água utilizada no processo de abate e maior limpeza das instalações (SENA et al., 2009; OLLER et al., 2011; VALTA et al., 2014). Os padrões progressivamente mais rigorosos em todo o mundo, tornaram necessário o desenvolvimento de tecnologias avançadas de tratamento de águas residuais, pois o contínuo declínio e a disponibilidade de recursos de água doce reorganizou os objetivos no tratamento de águas residuais das indústrias de carne para reutilização.

Assim, um dos desafios ambientais que o setor industrial enfrenta é a gestão das águas residuais da indústria de carne (FRANKE-WHITTLE; INSAM, 2013). É necessário a criação de regulamentos e diretrizes ambientais rigorosos para que as indústrias adotem métodos de tratamento adequado (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007) e lidem com o impacto ambiental das indústrias de processamento de carne de maneira eficiente (CHOUDHARY; KUMAR, 2011; VIDAL et al., 2016), além do desenvolvimento de alternativas tecnológicas ambientais para reduzir a pressão sobre as fontes de águas doces, acarretados por estas indústrias

(HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007; DJEKIC et al., 2015). Diante disto, a questão de pesquisa que este estudo se propõe a responder é: como as tecnologias de tratamento de águas residuais reduzem o consumo e os impactos ambientais na indústria de processamento de carne bovina?

Tecnologias ambientais que garantem a qualidade da água dos mananciais têm sido um dos objetivos de pesquisa e desenvolvimento há muito tempo, em todo o mundo. A necessidade por novas tecnologias para o tratamento de efluentes industriais é cada vez maior, diante da crescente conscientização da sociedade com relação aos altos níveis de poluição e a consequente escassez da água do planeta (RIDOUTT; PEERASAK; GREGORY, 2011).

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi realizar um levantamento na literatura para analisar os principais impactos ambientais do consumo de água na indústria de carne bovina e discutir as tecnologias de tratamento de água residuais que reduzem o consumo e os impactos.

Com a intenção de atender ao objetivo proposto, realizou-se uma pesquisa exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa, em principais periódicos que tratam dos impactos ocasionados pela indústria de carne bovina, assim como as principais tecnologias de mediação para a redução destes impactos ocasionados pelo setor. Este estudo, classifica-se como exploratória por ter identificado poucas abordagens sobre o tema, e caracterizada como descritiva pela análise e interpretação das publicações pesquisadas e analisadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este item discorre sobre a quantidade de água utilizada nos processos industriais da carne bovina, assim como os principais impactos ocasionados pelo setor.

Os valores médios do volume total de água utilizado na indústria de carne, estão entre 13.500 L/Kg (RENAULT; WALLENDER, 2000) e 15.500 L/Kg no processamento de carne (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007). A Tabela 1 apresenta a média de consumo de água em alguns países, assim como a média mundial no processo industrial da carne bovina, tanto por quilo de carne, quanto pelo número de animal abatido.

Tabela 1 - Média de consumo de água no abate bovino

DEMANDA DE ÁGUA L/KG DE CARNE	LOCALIZAÇÃO	TIPO DE PROCESSAMENTO
3.682	Média dos Estados Unidos	Processamento de desossa de carne
15.000	Média do Brasil	Todo processo produtivo da carne
17.112	Média da Austrália	Todo processo produtivo da carne
15.497	Média Mundial	Todo processo produtivo da carne
DEMANDA DE ÁGUA L/ANIMAL ABATIDO	LOCALIZAÇÃO	TIPO DE PROCESSAMENTO
4.864	Média do Brasil	Processo produtivo do abate, frigorífico e graxaria
1.000	Média da Dinamarca	Processo produtivo do frigorífico
800 – 1700	Média do Canadá	Processo produtivo do frigorífico
973 – 2.800	Média da Bolívia	Processo produtivo do frigorífico

Fonte: Autoras

Nota: Elaborado com informações de Hoekstra e Chapagain, 2007; FAO, 2013; CETESB, 2006; UNEP, 2000; Foran et al., 2005.

O consumo de água na indústria de carne bovina é bastante variável, dependendo do tipo de instalação. Uma planta de frigorífico, com abatedor e suas instalações de processamento de carne, pode consumir entre 2,5 e 40 m³ de água por tonelada de carne produzida ou entre 1,25 e 2,4 m³ para cada animal abatido, sendo distribuídos da seguinte forma: 0,9 m³ na sala de matança, cerca de 1,0 m³ nas demais dependências (bucharia, triparia, sanitários) e 0,6 m³ para a área externa, currais e pátios (LIU et al., 2018; MARLOW et al., 2009). A Tabela 2 apresenta a distribuição do consumo de água utilizada por cada operação na indústria de carne.

Tabela 2 - média da distribuição do consumo de água por operação na indústria de carne

OPERAÇÃO	PORCENTAGEM DE CONSUMO (%)
Recepção Saída dos currais	7 – 22
Abate Sangria Esfolia	44 – 60
Evisceração	9 – 22
Processamento das vísceras (cooprodutos)	7 – 38
Limpeza esterilização de equipamentos higienização das mãos/luvas	1 – 4
Corte da carcaça / Desossa	2 – 5
Câmaras Frigoríficas Refrigeração	2

Fonte: Autoras

Nota: Elaborado com base em UNEP, 2000 e Peters, 2010

O reuso de água dentro de uma operação de processamento de carne é potencialmente um método eficaz de reduzir a demanda por água potável e também reduzir a quantidade de efluente a ser tratado e descartado (RIDOUTT; PFISTER, 2010). No entanto, a reutilização ainda é limitada, devido, sobretudo, às legislações e restrições quanto ao seu uso, principalmente de ordem sanitária.

Dentre as indústrias de alimentos, a de processamento de carne utiliza 24% do total de água doce, conforme a Tabela 3 (GERBENS-LEENES; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2013; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2012) e até 29% do consumido pelo setor agrícola a nível mundial (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015).

Tabela 3 - Consumo de água doce nas indústrias de bebidas e alimentos

INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA	CONSUMO DE ÁGUA
Transformação de carnes	24%
Bebidas	13%
Laticínios	12%
Outros gêneros alimentícios	11%
Frutas e produtos hortícolas	10%
Produtos de padaria e tortilla Grãos e sementes oleaginosas	9%
Açúcar e confeitaria Ração para animais	5%
Frutos do mar	2%

Fonte: Autoras

Nota: Elaborado com base em Mekonnen e Hoekstra, 2012 e Gerbens-Leenes, Mekonnen, Hoekstra, 2013

As indústrias que mais consomem água são as de carne, curtumes, fábricas de leite, fábricas de açúcar, conservas, papel e celulose, bebidas e destilarias (AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS - ABS, 2010). A maioria dos processos industriais requer uma grande quantidade de água. Com isso, os efluentes gerados pelas águas residuais têm quantidade significativa de poluentes, nutrientes e patógenos (LAKSHMI; REDDY, 2017).

A indústria de carne produz um grande volume de águas residuais que consistem numa variedade de poluentes orgânicos e inorgânicos (MOUKAZIS et al., 2018), metais pesados (elementos tóxicos) que o organismo não é capaz de eliminá-los e ovos parasitários (BOHDZIEWICZ; SROKA, 2005). Estes resíduos são originados da limpeza de veículos que transportam os animais para o abatedouro, da lavagem de gado, do abate de animais, de detergentes e desinfetantes utilizados na limpeza de equipamentos (SROKA et al, 2004), da higiene pessoal dos trabalhadores (KUPUSOVIC et al., 2007), da limpeza das instalações e do processamento de carne (DJEKIC; TOMASEVIC, 2016; MOGENSEN et al., 2015).

A água utilizada na indústria de carne contém também altos níveis de matéria orgânica devido à presença de estrume, fragmentos de carne, vísceras (JAYATHILAKAN et al, 2012) de sangue, que tem a maior resistência de todos os efluentes líquidos, gerados no processamento da indústria de carne, chegando até 375.000 mg/L de Demanda Química de Oxigênio – COD (CAO; MEHRVAR, 2011; BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR; QUIÑONES-BOLAÑOS, 2013). Há uma composição complexa de gordura, conteúdo estomacal não digerido (DJEKIC et al., 2016; KUPUSOVIC et al., 2007), proteínas e fibras do processo de abate (WU; MITTAL, 2011; BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014), e de materiais altamente putrescíveis, que entram em decomposição poucas horas depois da sua geração (WU; MITTAL, 2011; ZHU et al, 2009).

Os principais impactos ocasionados pela indústria de carne dizem respeito à carga orgânica nas águas residuais. Esta se liga ao oxigênio e reduz sua disponibilidade, causando a morte de animais aquáticos, enquanto a eutrofização pode ocorrer devido a macronutrientes N, P (elementos minerais químicos), levando ao crescimento excessivo de algas, resultando na mortalidade dos residentes aquáticos (RAHMAN et al., 2014). A gestão eficiente dos resíduos de efluentes e do derramamento descontrolado leva a alterações na biocenose (comunidade biológica) que afetam a distribuição das espécies e ameaçam os ecossistemas aquáticos (CUADROS et al., 2011). O Quadro 1 resume os principais problemas associados à indústria de carne, assim como os parâmetros que medem a quantidade de matéria orgânica suscetível de ser oxidada existentes nos efluentes de frigoríficos.

Quadro 1 – Principais problemas associados aos efluentes da indústria de carne bovina

PARÂMETRO	VARIAÇÃO	PROBLEMA	AUTORES
Demanda Química de Oxigênio COD (mg/L)	1000 – 20000	Consumo de oxigênio dissolvido em corpos d'água naturais e geração de odores	Li et al., 2008; Jayathilakan et al, 2012
Demanda Biológica de Oxigênio BOD (mg/L)	200 – 8232	Consumo de oxigênio dissolvido em corpos d'água naturais e geração de odores	Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015; Bohdziewicz e Sroka, 2005; Jayathilakan et al, 2012
Nitrogênio TN (mg/L)	40 – 700	Eutrofização, grande concentração de matéria orgânica acumulada nos ambientes aquáticos	Tong et al., 2009
Fósforo total TP (mg/L)	4 – 410	Eutrofização - grande concentração de matéria orgânica acumulada nos ambientes aquáticos	Jensen et al., 2014; Rodríguez-Martínez et al., 2002; Sroka et al, 2004; Bohdziewicz, 2005
Gorduras, óleo e graxa FOG (mg/L)	5 – 4.570	Incapacidade de transferência de oxigênio da atmosfera para água	Harris e McCabe, 2015; Bohdziewicz e Sroka, 2005
Alcalinidade com Carbonato de Cálcio (mg/L com CaCO ₃)	72 – 800	Evita a água de acidificação; no entanto, em alta concentrações pode formar um precipitado branco (soluções saturadas por composto químico)	Del Nery et al., 2007; Harris e McCabe, 2015;
Total de sólidos suspensos TSS (mg/L)	662 – 9938	Geração de resíduos	Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015, Do et al., 2016
Total de sólidos dissolvidos TDS (mg/L)	813 – 1872	Afetam a vida aquática e provocam incrustações em brânquias de peixes impedindo a respiração.	Ahmed et al., 2017, Davarnejad e Samaneh, 2017.
Potencial Hidrogeniônico pH	6 – 7,8	Afetam a fauna aquática e podem modificar o pH do corpo natural da água, novas espécies de geração químicas	Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015, Del Nery et al., 2007
Temperatura (C°)	22 – 29	Oxigênio dissolvido diminui o corpo de água em temperaturas altas	Ahmed et al. 2017
Turbidez (unidades de turbidez)	29 – 279	Incidência de luz, obstrução no corpo de água e afetam a fotossíntese	Ahmed et al., 2017, Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015

Condutividade elétrica μS/cm	795 – 904	Afetam a vida aquática e provocam a formação de crosta em brânquias de peixe	Ahmed et al., 2017
Cor (unidades de cor)	100 – 391	Incidência de luz, obstrução no corpo da água e afeto fotossintético	Ahmed et al., 2017, Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015, Davarnejad e Samaneh, 2017

Fonte: Martínez-Guido et al., 2017, p. 16

As indústrias de carne devem fazer o tratamento dos efluentes para minimizar os impactos ambientais dos efluentes industriais e atender a legislação ambiental. Os rejeitos líquidos necessitam passar por sistema de tratamento adequado antes do lançamento em cursos d'água, de forma que não ocasione a poluição dos rios e mananciais (CETESB, 2006).

3 METODO DA PESQUISA

A natureza desta pesquisa é exploratória por ter identificado poucas abordagens sobre o tema, e descritiva pela análise e interpretação das publicações pesquisadas e analisadas. Tem uma abordagem qualitativa, tendo em vista que busca entender, descrever e explicar os fenômenos de modos diferentes, por meio da análise documental (FLICK, 2009).

Para constituir a população desse estudo, foram selecionados artigos científicos nas principais bases de dados internacionais como a EBSCO, Web Of Science e PROQUEST. Como critério de escolha das publicações, foram considerados que 95% dos Journals tivessem um fator de impacto acima de 3,00 JCR. Conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Fator de impacto dos artigos pesquisados

JOURNALS	FATOR JCR	JOURNALS	FATOR JCR
Applied Energy	7,182	International Journal of Contemporary Research and Review	7,426
Biological Reviews	10,288	J. Hazard. Mater	4,836
Bioresour. Technol	5,807	Journal Life Cycle Assessment	4,868
Ceramics International	3,057	Journal of Cleaner Production	6,395
Chem Eng Res Des	2,196	Journal of Environmental Management	4,010
Critical Reviews in Microbiology	5,697	Polym. Degrad	3,78
Desalination	6,603	Process Biochemintry	2,612
Ecological Economics	3,895	Resources Conservation and Recycling	7,044
Ecosystems	4,555	Rev. Environ. Sci. Biotechnol	4,938
Elixir Pollution	6,865	The American Journal of Clinical Nutrition	6,568
Environ Sci Pollut Res	2,914	Trends in Food Science & Technology	6,609
Environ. Science & Technol	3,120	Water Research Journal	3,182
Environ. Science & Technol	6,653		
Environmental Science & Technology	7,149		
Global Environmental Change	10,427		

Fonte: Autoras

Após selecionados, os artigos foram analisados e identificadas as diferentes tecnologias que auxiliam na redução de impacto ambiental, na indústria de processamento de carne bovina.

4 TECNOLOGIAS AMBIENTAIS PARA TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUAL NA INDÚSTRIA DE CARNE BOVINA

O reaproveitamento de água tratadas em Estação de Tratamento de Efluentes - ETE, oferece benefícios socioeconômicos e ambientais, principalmente na redução de nutrientes no efluente e permitindo reduzir o uso de fertilizantes químicos. O sistema de irrigação de águas residuais tratadas pela ETE tem revelado benefícios na produtividade das culturas com redução de até 50% na dose de fertilizante nitrogenado e reposição de 100% da evapotranspiração da cultura (RODRÍGUEZ et al., 2013). O uso de águas residuais em irrigação aumenta produção de biomassa e melhora a produtividade das culturas (JANG et al., 2012; MOJID et al., 2012).

No entanto, não é uma prática isenta de riscos, principalmente devido à qualidade do efluente após o tratamento, podendo ainda conter sódio, organismos patogênicos, sólidos suspensos, prejudiciais ao solo, às plantas, ao ser humano e aos sistemas de irrigação (MOJID et al., 2012), além de promover o acúmulo de sal, alteração de pH (PALESE et al., 2009), ocorrendo a diminuição da taxa de infiltração do solo (BEDBABIS et al., 2014).

A UNEP (PROGRAMA AMBIENTAL DAS NAÇÕES UNIDAS) desenvolveu um estudo classificando o consumo de água pelo tipo de tecnologia utilizada no processo de abate e há uma diferença entre elas. Quando utilizada a tecnologia tradicional, o consumo é de 5.000 L/animal e é caracterizada pelo baixo uso da capacidade instalada. Os métodos de Produção Mais Limpa não são utilizados e a tecnologia tradicional são associadas às indústrias localizadas em países em desenvolvimento. Quando utilizada as tecnologias intermediárias, o consumo é de 2.500 L/animal e está relacionada a indústrias com pouco uso de métodos de Produção Mais Limpa. Quando utilizadas as melhores tecnologias, o consumo é de 1.000 L/animal e diz respeito a empreendimentos que utilizam toda a capacidade instalada e métodos de Produção Mais Limpa para uma melhor eficiência do processo produtivo (UNEP, 2002)

A seleção de uma tecnologia de tratamento específica está sujeita às características das águas residuais, à tecnologia disponível e à conformidade com os regulamentos atuais. Algumas instalações de processamento de carne podem descarregar seu efluente no sistema de esgoto municipal depois de demonstrar uma redução adequada de cargas de Demanda Biológica de Oxigênio - DBO por tratamento preliminar (MITTAL, 2006). Os métodos de tratamento de água residual da indústria de carne são semelhantes às tecnologias atuais usadas em águas residuais municipais e podem incluir tratamento preliminar, primário, secundário e até terciário, conforme Quadro 2 (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR; QUIÑONES-BOLAÑOS, 2013).

Quadro 2 - Tecnologias utilizadas nas etapas de tratamento de águas residuais de abatedouros

TIPOS DE TRATAMENTO	DEFINIÇÃO	TECNOLOGIAS PROCESSO
Preliminar ou pré-tratamento	Remove apenas sólidos grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável.	Depuradores biológicos e leitos de absorção
Primário	Processo físico (sedimentação de partículas), que remove sólidos inorgânicos e matéria orgânica em suspensão.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Tratamento físico-químico:</i> - Tecnologias de membranas - Flotação por ar dissolvido – DAF - Coagulação e floculação - Eletrocoagulação
Secundário	Processo biológico, realizado por bactérias (aeróbias – com oxigênio, e anaeróbias – sem oxigênio). Esse nível de tratamento remove os sólidos inorgânicos e matéria orgânica dissolvida e em suspensão	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Tratamento biológico:</i> - Digestão anaeróbica - Tratamento aeróbico • <i>Processos de oxidação avançada – AOP</i>
Terciário	Tratamento de desinfecção e controlo de nutrientes, para eliminar bactérias e vírus. Esse nível de tratamento é para obter um efluente de alta qualidade, ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuais	<i>Processos combinados</i>

Fonte: Autora “adaptado de” Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2015, p. 23

4.1 TRATAMENTO PRELIMINAR OU PRÉ-TRATAMENTO

O tratamento preliminar pode ser classificado como processo físico que tem como objetivo a redução de sólidos grosseiros em suspensão, não havendo a remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio - BOD, pois é um processo que consiste na preparação do efluente para o tratamento posterior. Nesta etapa, todos os sólidos gerados durante o processo de abate são separados de águas residuais. No tratamento preliminar, o odor pode ser controlado usando depuradores biológicos e leitos de adsorção que são alternativas aos lavadores químicos. As operações unitárias típicas para a remoção preliminar de Sólidos em Suspensão Totais – TSS em águas residuais incluem filtros, peneiras regulares ou peneiras comuns (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015).

4.2 TRATAMENTO PRIMARIO

Os métodos de tratamento físico-químicos geralmente envolvem separação do sólidos do líquido, e está incluído no tratamento primário. Nele, são utilizadas distintas condições físico-químicas e tecnologias de tratamento como: tecnologias de membranas; flotação por ar dissolvido - DAF; coagulação e floculação e eletrocoagulação (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015).

A tecnologia de membrana está se tornando uma alternativa para o tratamento de águas residuais de abatedouros, na remoção de bactérias, micro-organismos, partículas e matéria orgânica originadas dos resíduos dos abatedouros. Neste processo, a Osmose Reversa (RO) e a Ultrafiltração (UF) se mostram processos eficazes, capazes de remover partículas, colóides e macromoléculas (ALMANDOZ et al., 2015).

O desempenho da tecnologia de membrana, foi avaliado por meio de Osmose Reversa - RO no tratamento de águas residuais de abatedouros como efluentes secundário. O resíduo bruto foi primeiramente tratado, usando Lodo Ativado - AS, assim, as características do tratamento de água residual com RO foram 76,0 mg/L de Demanda Química de Oxigênio - COD, 10,0 mg/L de Demanda Biológica de Oxigênio – BOD, 3,6 mg/L de Fósforo Total - TP e 13,0 mg/L de Nitrogênio Total – TN. Após o tratamento com RO, os resultados mostraram uma remoção de 85,8 % para COD, 50,0 % para BOD, 97,5% para TP e 90,0% para TN. Nos estudos, observa-se que a Tecnologia de Membrana por meio de Osmose Reversa - RO é uma alternativa viável para o tratamento de águas residuais de abatedouros (BOHDZIEWICZ; SROKA, 2005).

Os estudos também mostram a viabilidade de usar Ultrafiltração - UF no tratamento de águas residuais de abatedouros, pois os resultados comprovam que é um método eficiente de purificação de águas tratadas de abatedouros, com remoção de 98% de Sólidos Totais em Suspensão (TSS) e 99% de Gorduras. A eficiência de remoção é entre 97,80 e 97,89% de Demanda Biológica de Oxigênio - BOD e 94,52 e 94,74%, Demanda Química de Oxigênio - COD (ALMANDOZ et al., 2015).

O sistema de Flotação por Ar Dissolvido – DAF, é um método popular de tratamento primário comum para reduzir a carga de efluentes de gordura, Sólidos Suspensos e Demanda Biológica de Oxigênio - BOD. As bolhas de ar são injetadas na parte inferior do tanque de flotação, que transportam sólidos leves e outros materiais, como gordura e graxa, até a superfície onde a espuma é consistentemente removida (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR; QUIÑONES-BOLAÑOS, 2013, 2014).

Com a adição de produtos químicos, as unidades de DAF podem alcançar reduções de Demanda Química de Oxigênio (COD) variando de 32% a 90% e são capazes de remover grandes quantidades de nutrientes e gorduras (JOHNS, 1995; BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR; QUIÑONES-BOLAÑOS, 2014). O DAF reduz cerca de 40 a 70% de Sólidos em Suspensão Totais - TSS, no entanto não remove as concentrações de COD solúvel e proteína.

Os sistemas DAF também são capazes de obter uma remoção de nutrientes moderada a alta (MITTAL, 2006; AL-MUTAIRI, 2008; DE NARDI; DEL NERY; AMORIM, 2011).

Quanto ao método de coagulação e floculação são utilizadas dosagens de produtos químicos, como sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico e cloridrato de alumínio como coagulantes para o tratamento de águas residuais de abatedouros (SENA et al., 2008). Os resultados mostram remoções de até 99,9% de TP, 88,8% TN e 75,0%, COD, usando cloreto de polialumínio como agente reagente (NÚNEZ et al., 2013; AGUILAR et al., 2002). Além disso, se forem utilizados auxiliares de coagulação inorgânicos (polímeros sintéticos catiônicos), o volume de lodo pode ser reduzido em 41,6% (MITTAL, 2006; SENA et al., 2008).

No método de tratamento físico-químico também é utilizado a Eletrocoagulação - EC, um processo que foi recentemente usado como uma tecnologia avançada de tratamento de águas residuais de abatedouros de baixo custo (KOBYA; SENTURK; e BAYRAMOGLU, 2006). A EC foi confirmada como uma tecnologia eficaz para a remoção de orgânicos, nutrientes, metais pesados e até patógenos da água residual de abatedouros, introduzindo uma corrente elétrica sem adicionar produtos químicos (EMAMJOMEH; SIVAKUMAR, 2009; BAYAR et al., 2011; QIN et al., 2013).

4.3 TRATAMENTO SECUNDARIO

O tratamento biológico é geralmente aplicado como tratamento secundário em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), onde a digestão anaeróbica e aeróbica é usada como processos individuais ou combinados, dependendo das características da água residual a ser tratada (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015). O tratamento biológico é usado para remover orgânicos e, eventualmente, patógenos e micro-organismos de águas residuais de abatedouros. Além disso, o tratamento biológico é capaz de remover até 90% da Demanda Biológica de Oxigênio (BOD) de efluentes das Estações de Tratamento - ETE, por processos aeróbicos ou anaeróbicos (MITTAL, 2006).

a) Digestão anaeróbia

No processo biológico, o Regulamento Europeu (CE) n.º 1069/2009, propõe que o tratamento de águas residuais de abatedouros seja realizado por meio da digestão anaeróbica - AD (MOUKAZIS et al., 2018). Esse processo de degradação biológica controlada é o mais utilizado em abatedouros e é considerado um dos melhores, devido à sua eficácia no tratamento de águas residuais de alta resistência (MOUKAZIS, 2018; CAO; MEHRVAR, 2011).

Durante o tratamento anaeróbico, os compostos orgânicos são degradados por diferentes bactérias em Dióxido de Carbono (CO₂) e Metano (CH₄) na ausência de oxigênio (MITTAL, 2006). Além disso, os sistemas anaeróbios apresentam diversas vantagens, como alta remoção de Demanda Química de Oxigênio – COD/ repetição e baixa produção de lodo (entre 5 a 20%), em comparação com os sistemas aeróbicos, além de uma menor necessidade de consumo de energia elétrica (BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014).

Os efluentes tratados anaerobicamente geralmente necessitam de pós-tratamento adicional, por meio do sistema de lodos ativados, no qual a remoção de matéria orgânica e outros constituintes é concluída (CHERNICHARO, 2006). Além disso, o maior espaço e menor tempo contribui consideravelmente para a viabilidade econômica das estações de tratamento anaeróbicas (BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014). Assim, a combinação de sistemas anaeróbicos e aeróbicos é uma alternativa potencial aos métodos convencionais, a fim de satisfazer as normas de descarga de resíduos (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR; QUIÑONES-BOLAÑOS, 2013).

Na primeira etapa, os ABRs são considerados eficazes, e são semelhantes a uma fossa séptica comum, tendo uma série de compartimentos e defletores sob o qual a água residual flui

de baixo para cima, da entrada para a saída. O fluxo proporciona uma melhor remoção de orgânicos com remoções de BOD e COD de até 90% (BARBER; STUCKEY, 1999). O resultado da avaliação do desempenho dos processos combinados de ABR em escala de laboratório para o tratamento de águas residuais de abatedouros, mostram que os processos combinados tiveram maior eficiência de remoção para o tratamento de resíduos de abatedouros, em comparação com outros tipos de processos (CAO; MEHRVAR, 2011).

A segunda etapa, é realizada pelos Filtros Anaeróbico (AFs), que são reatores biológicos de leito fixo com câmaras de filtração e são comumente encontrados trabalhando em série (BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014). Quando a água residual de abatedouros passa pelas câmaras de filtração, as partículas são confinadas dentro, então, o material orgânico é removido pela biomassa ativa ligada ao filtro da superfície. Os AFs são usados como tratamento secundário devido às altas taxas de remoção de sólidos e de recuperação de biogás (MITTAL, 2006). Os resultados dos filtros anaeróbicos mostraram que a eficiência de remoção de Demanda Química de Oxigênio (COD) de até 90% pode ser alcançada para Taxas de Carregamento Orgânico (OLR) de 9000 mg/L por dia sob condições mesófilicas e 72% sob condições termófilicas (GANNOUN et al., 2009, 2013).

Na terceira etapa, os tanques anaeróbicos (AL) são populares em países onde disponibilidade de tempo e terra permitem a construção de lagoas para o tratamento de águas residuais de abatedouros. A água residual geralmente flui a partir do fundo do tanque, e embora possa haver alguma mistura de gás, os ALs não são misturados mecanicamente (MITTAL, 2006). Os tanques anaeróbicos são construído com uma profundidade de 3 e 5 m para o tempo de retenção hidráulica de 5 a 10 dias (MCCABE et al., 2014). Os resultados mostram eficiência no tratamento de águas residuais com ALs, relatando remoção de 97% para o BOD, 96% para o COD e 95% para o TSS (MITTAL, 2006; MCCABE et al., 2014). As principais desvantagens dos tanques anaeróbicos estão relacionadas à regeneração de odores e condições climáticas. Portanto, coberturas flutuantes sintéticas são usadas para capturar o odor e coletar biogás (MITTAL, 2006). Por outro lado, o AL é uma das opções mais utilizadas devido à sua simplicidade e baixos custos (MCCABE et al., 2014).

Na quarta e quinta etapa, o SBR é um processo de lodo ativado em que o tratamento de águas residuais de abatedouros ocorre em um único reservatório. Nele, os resíduos do processo são separados por tempo ao invés de espaço (MITTAL, 2006). Além disso, afim de otimizar o desempenho, uma estratégia de alimentação de tratamento de águas residuais, são eliminados a necessidade de um fluxo de reciclagem ou de um tanque de equalização. Uma das maiores vantagens SBR é que requer baixos custos (MASSÉ, D.; MASSE, L., 2005).

Já os reatores UASB são similares aos SBRs anaeróbicos, no entanto, o processo UASB usa grânulos para capturar bactérias. Os sólidos orgânicos suspensos, são quebrados, biodegradados e digeridos através de uma transformação anaeróbia, resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. O biogás segue em trajetória ascendente com o líquido, após ultrapassar a camada de lodo, em direção ao separador de fases (MIRANDA; HENRIQUES; e MONTEGGIA, 2005). Essencialmente, reatores UASB consistem em três etapas: líquida, como a água residual de abatedouros, sólida, como biomassa, e gás como CO₂ e CH₄ produzidos durante a digestão (MITTAL, 2006; DEL NERY et al., 2007). A avaliação do UASB em condições mesofílicas para o tratamento de águas residual de abatedouro tiveram um bom desempenho. As concentrações dos efluentes de COD variaram de 1.820 a 12.790 mg / L. Os resultados demonstraram uma eficiência adequada do reator UASB para tratar água residual de abatedouro de até 94,31% para a remoção de COD (CALDERA et al., 2005).

b) Tratamento aeróbico

Em sistemas aeróbicos, bactérias aeróbicas são responsáveis pela remoção de materiais orgânicos na presença de oxigênio. O tempo de tratamento e a quantidade de oxigênio

necessário aumentam subitamente com a força da água residual. O tratamento aeróbico é comumente usado para descontaminação final e remoção de nutrientes após o uso de técnicas físico-químicas ou anaeróbicas (CHERNICHARO, 2006). Reatores aeróbicos podem ter várias configurações.

A primeira etapa do processo aeróbico, é do Lodo Ativado – AS, que é um método de tratamento aeróbico que traz o efluente em contato com o ar livre e flocos flutuantes de micro-organismos, incluindo bactérias e protozoários. O processo AS tem sido amplamente aplicado em diferentes indústrias como um método conhecido e de baixo custo para o tratamento de águas residuais. O objetivo do processo AS é remover os orgânicos solúveis e insolúveis das águas residuais e transformar este material em uma suspensão microbiana ocular que é então resolvida em um clarificador. Dois mecanismos distintos são aplicados na AS, a adsorção e a oxidação da matéria orgânica (AL-MUTAIRI, 2008). Os sistemas AS que fazem o tratamento de água residual produzem uma má fixação flocculantes por causa de gorduras presentes na água residual em baixos níveis de oxigênio dissolvido (DO). O processo de AS mostra um bom desempenho no tratamento de águas residuais de abatedouros. O AS foi avaliado com máxima eficiência, alcançando remoção de 94,09% para TSS, 89,73% BOD e 89,03% para COD (PABÓN; GÉLVEZ, 2009).

A segunda etapa é o processo RBC permite que as águas residuais entrem em contato com um meio biológico, a fim de absorver e metabolizar o conteúdo orgânico, bem como para remover outros poluentes antes da descarga para o meio ambiente (MITTAL, 2006). No entanto, o desempenho de um eritrócito (célula de sangue) no tratamento de águas residuais tem sido avaliado como inaqueado (BULL et al., 1982; JOHNS, 1995; BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2013, 2014) em comparação com os sistemas de tratamento aeróbico convencionais. O desempenho de uma planta piloto de RBC no pós-tratamento de água residual de abatedouros, atendem aos requisitos regulatórios com até 88% de confiança (TORIAN et al., 2003).

O desempenho de um Reator de Sequenciamento de lote Anaeróbio – SBR, terceira etapa do processo aeróbico, é utilizado para tratamento de águas residuais de abatedouros com concentrações de 5000 mgCOD/L e 360 mg TN/ L, os resultados das pesquisas relatam que o desempenho foi melhorado na faixa de 95 e 96% para COD e 95 e 97% para Nitrogênio Total - TN (FILALI-MEKNASSI et al., 2005). Em relação ao desempenho de SBRs abaixo de 6h no tratamento de águas residuais de abatedouros, os resultados apresentam altas taxas de remoção, sendo de 95% para COD, 98% para TP e 97% para TN (LEMAIRE et al., 2008).

c) Processos de oxidação avançada – AOP

O processo de oxidação avançada tem se tornando uma alternativa para o tratamento convencional e uma opção de tratamento complementar, como pré-tratamento ou pós-tratamento, aos processos biológicos atuais no tratamento de águas residuais de abatedouros. Além disso, os AOPs podem inativar os microrganismos sem acrescentar produtos químicos adicionais no tratamento de águas residuais, em comparação com outras técnicas, como a cloração, que são comumente usadas na desinfecção da água, evitando assim a possível formação de subprodutos perigosos (BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014; SENA et al., 2009).

Os AOPs têm sido úteis para serem reconhecidos como processos avançados de degradação (CAO; MEHRVAR, 2011; BARRERA et al., 2012), reutilização de água (MOHAJERANI et al., 2012; BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014) e controle de poluição, mostrando excelentes resultados gerais como tratamento complementar (HAMAD et al., 2014; MOWLA et al., 2014; GHAFoori et al., 2015). Os resultados mostram que o ozônio foi efetivo em desinfecção de águas residuais após 8 minutos, usando uma dosagem de ozônio de até 23,09 mg / min por L, foi comprovado que até 99% dos microrganismos foram inativados, no entanto, a remoção de apenas 10,70% de COD e 23,60 % de BOD (BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014).

4.4 TRATAMENTO TERCIARIO

A implementação do processo combinado é benéfico, em termos de operação e economia para o tratamento de água residual (AHN et al., 2007; BAZRAFESHAN et al., 2012), uma vez que une o benefício de diferentes tecnologias para melhorar a gestão de águas residuais industriais de alta resistência (CAO; MEHRVAR, 2011; BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014).

Os sistemas de processos combinados físico-químico com biológico, utilizando o Processo de Lodo Ativado - AS com Osmose Reversa - RO, são considerados eficazes no tratamento de água residual de abatedouro. Os resultados mostraram uma alta remoção de contaminantes da água residual pelos processos combinados, sendo 99,80% de COD, 99,83% para BOD, 99,76% de TP e 99,77% de TN (BOHDZIEWICZ; SROKA, 2005).

Para os sistemas de processos combinados anaeróbico e aeróbico no tratamento de águas residuais de abatedouros, os resultados mostram remoções totais de Demanda Química de Oxigênio - COD de até 93% obtidos para Taxa de Carregamento Orgânico - OLRs de 0,77 kg / m³ dia, juntamente com as remoções Nitrogênio Total - TN de até 67% para uma carga de TN influente de 0,084 kg N / m³ dia (DEL POZO; DIEZ, 2005).

Os processos combinados de Digestão anaeróbica por meio de reator refletido – ABR com o Processo de Oxidação Avançada - AOP, também foram avaliados em escala de laboratório para tratamento de águas residuais de abatedouros. Os resultados mostraram que processos combinados são mais eficientes do que os processos individuais para o tratamento de águas residuais de abatedouros, com remoções de até 95% de TOC, 98% de COD e 97% de BOD (CAO; MEHRVAR, 2011).

Um sistema anaeróbio-aeróbico em escala de laboratório, ligado a um Reator de Sequenciamento de lote Anaeróbio - SBR aeróbico, foi usado para o tratamento de águas residuais de abatedouros. A Digestão anaeróbica por meio de Tanque anaeróbico - AF operou com Taxas de Carregamento Orgânico (OLR) na faixa de 3,7e16,5 kg / m³ dia e no Tempo de Retenção Hidráulica - HRTs de até 72 h. Até 81% de remoções de COD foram obtidos e foi encontrado para ser inversamente correlacionado com OLRs. Ao acoplar o AF ao SBR, mais de 95% COD foi removido em 9 h. Além disso, condições ótimas foram detectadas em OLRs abaixo 11 kg / m³ dia com TRH de 24 h (LÓPEZ-LÓPEZ et al., 2010). O Quadro 3, apresenta uma síntese dos processos combinados.

Quadro 3 – Síntese dos resultados dos processos combinados

COMBINAÇÕES DE TRATAMENTO	RESULTADOS DO TRATAMENTO	AUTORES
Processo de Lodo Ativado – AS com Osmose Reversa - RO	Alta remoção de contaminantes da água residual pelos processos combinados, sendo 99,80% de Demanda Química de Oxigênio - COD, 99,83% para demanda Biológica de Oxigênio - BOD, 99,76% de Fósforo Total - TP e 99,77% de Nitrogênio Total – TN	Bohdziewicz e Sroka, 2005
Sistemas anaeróbico com aeróbico	Remoções totais de Demanda Química de Oxigênio – COD, até 93% para Taxa de Carregamento Orgânico - OLRs de 0,77 kg / m ³ dia, juntamente com as remoções Nitrogênio Total - TN de até 67%	Del Pozo e Diez, 2005
Digestão anaeróbica por meio ABR com Processo de Oxidação Avançada – AOP	Desempenho foi melhorado entre 95 e 96% para demanda Química de Oxigênio - COD e entre 95 e 97% para Nitrogênio Total – TN. Desempenho de SBRs abaixo de 6h, altas taxas de remoção, sendo de 95 % para demanda Química de Oxigênio - COD, 98% para Fósforo Total - TP e 97% para Nitrogênio Total – TN	Cao e Mehrvar, 2011; Filali-Meknassi et al., 2005; Lemaire et al., 2008
Sistemas anaeróbio com aeróbico, mais Reator de Sequenciamento de lote Anaeróbio – SBR	Até 81% de remoções de Demanda Química de Oxigênio – COD. No entanto, cumprando a Digestão Anaeróbica - AF ao Sequenciamento de Lote anaeróbico -SBR, há remoção acima de 95% de Demanda Química de Oxigênio - COD em 9 h.	Lopez-Lopez et al., 2010

Fonte: Autora

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa é analisar as principais tecnologias de tratamento de água residuais que reduzem o consumo e os impactos ambientais na indústria de processamento de carne bovina. Os resultados mostram que os principais impactos ocasionados pelo setor estão associados ao alto consumo de água nas operações de processamento da indústria de carne. Há alta carga orgânica nas águas residuais que se liga ao oxigênio e reduz sua disponibilidade, causando a morte de animais aquáticos e levando ao crescimento excessivo de algas. Nesse sentido, foram identificados alguns tipos de tratamentos tecnológicos da água residual que auxiliam na redução dos impactos ocasionados pela indústria de processamento de carne.

No tratamento primário, o processo de Tecnologia de Membrana mostra-se um dos mais eficientes, por meio do método de ultrafiltração, o método apresenta-se com um maior percentual de remoção de poluentes, já os processos de Flotação por Ar Dissolvido – DAF e Coagulação e Floculação, demonstram as menores taxas de remoção de sólidos suspensos.

No tratamento secundário, o tratamento biológico é um dos mais eficientes por apresentar altas taxas de remoção de poluentes. No entanto, a maioria dos métodos utilizados nesse tipo de tratamento tem altos custos, como por exemplo o método ABR's. O tratamento por meio do método de Tanque Anaeróbico – AL, apresenta-se com uma das maiores taxas de remoção de BOD, COD e TSS, e com custos menos elevado, diferente do método de oxidação avançada – AOP, que tem as menores taxas de remoção de BOD e COD.

Nos estudos, observa-se que o sistema combinado de Digestão Anaeróbica por meio de Reator Refletido – ABR com o Processo de Oxidação Avançada - AOP é a solução mais econômica em comparação com outros processos para remoção de Carbono Orgânico Total - TOC sob estas condições. No entanto, a seleção de um método de tratamento específico, para o tratamento de águas residuais de abatedouros, requer análise das características do resíduo a ser tratado e da Melhor Tecnologia Disponível - BAT, a fim de cumprir as normas vigentes, regulamentos e jurisdições diferentes em todo o mundo.

Nota-se um atraso no setor em relação às novas tecnologias ambientais, pois ainda são utilizados métodos tradicionais como tratamento primário e secundário. Se faz necessário a utilização de tratamentos que diminua principalmente o consumo elevado de água na indústria de carne bovina, pois as tecnologias de tratamento são escolhidas considerando os custos envolvidos no processo sem priorizar os impactos ambientais. Desta forma, recomenda-se para estudos futuros pesquisas empíricas para verificar os tratamentos de águas residuais em indústrias de processamento de carne em países em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- ABS - AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS. Water account. Australia, 2010. Disponível em: <http://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/4610.02008-09?OpenDocument>>. Acesso em: 23 mar. 2018
- AHMADIAN, M. et al. Kinetic study of slaughterhouse wastewater treatment by electrocoagulation using Fe electrodes. **Water Science Technol**, London, v. 4, n. 66, p. 754–760, 2012.
- AHN, Y. T. et al. Simultaneous high-strength organic and nitrogen removal with combined anaerobic upflow bed filter and aerobic membrane bioreactor. **Desalination**, Amsterdã, v. 1/3, n. 202, p. 114-121, 2007.
- AL-MUTAIRI, N. Z. Aerobic selectors in slaughterhouse activated sludge systems: a preliminary investigation. **Bioresour. Technol**, Oxford, v. 1, n. 100, p. 50–58, 2008.
- ALMANDOZ, M. C. et al. Composite ceramic membranes from natural aluminosilicates for microfiltration applications. **Ceramics International**, Oxford, v. 4, n. 41, p. 5621-5633, 2015.

- BARBER, W. P.; STUCKEY, D. C. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review. **Water Research Journal**, Dordrecht, v. 7, n. 33, p. 1559-1578, 1999.
- BAYAR, S. et al. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. **Desalination**, Amsterdã, v. 1/3, n. 280, p. 103–107, 2011.
- BEDBABIS, S. et al. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**, London, n. 33, p. 45-50, 2014.
- BOHDZIEWICZ, J.; SROKA, E. Treatment of wastewater from the meat industry applying integrated membrane systems. **Process Biochemintry**, Reino Unido, n. 40, p. 1339–1346, 2005.
- BULL, M. A. et al. The treatment of wastewaters from the meat industry: a review. **Environ. Science & Technol**, Washington, v. 3, n. 3, p. 117 – 126, 1982.
- BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M.; QUIÑONES-BOLAÑOS, E. Combined anaerobiceaerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater. **J. Environ. Sci. Heal**, Philadelphia, v. 48, n. 9, p. 1122-1135, 2013.
- BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M.; QUIÑONES-BOLAÑOS, E.. Effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes. **Journal of Environmental Management**, London, v. 134, p. 145-152, 2014.
- BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: a review on trends and advances. **Journal of Environmental Management**, London, v. 161, p. 287- 302, 2015.
- CALDERA, Y. et al. Effect of the organic load in the performance the UASB reactor treating slaughterhouse effluent. **Rev. Tec. Fac. Ing. Univ.**, Zulia, v. 28, n. 2, p. 119 – 127, 2005.
- CAO, W.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H₂O₂ processes. **Chem Eng Res Des**, England, n. 89, p. 1136–1143, 2011.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína)**. 2006. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/frigorifico.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2017.
- CHINDE, S. et al. Assessment of genotoxic effects of lead in occupationally exposed workers. **Environ Sci Pollut Res**, Bordéus, n. 21, p. 11469 – 11480, 2014.
- CHERNICHARO, C. Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. **Rev. Environ. Sci. Biotechnol.**, Dordrecht, v. 1, n. 5, p. 73- 92, 2006.
- CHOUDHARY, A. K.; KUMAR, S. Constructed wetlands: an approach for wastewater treatment. **Elixir Pollution**, Oxford, v. 37, p. 3666-3672, 2011.
- COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- CUADROS, L. et al. Recycling, reuse and energetic valuation of meat industry wastes in Extremadura (Spain). **Resources Conservation and Recycling**, Michigan, n. 55, p. 393 - 399, 2011.
- DEL NERY, V. et al. Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant. **Resour. Conserv. Recycl**, Amsterdã, v. 1, n. 50, p. 102-114, 2007.
- DEL POZO, R.; DIEZ, V. Integrated anaerobic-aerobic fixed-film reactor for slaughterhouse wastewater treatment. **Water Research Journal**, Dordrecht, v. 6, n. 39, p. 1114-1122, 2005.

DI NARDI, I. R. de; DEL NERY, V.; AMORIM, A. K. B. Performances of SBR, chemical e DAF and UV disinfection for poultry slaughter house wastewater reclamation. **Desalination**, Amsterdã, v. 1, n. 269, p. 184–189, 2011.

DJEKIC, I.; et al. Environmental life-cycle assessment in production of pork products. **Meso**, Zegrebe, v. 17, n. 5, p. 345-351, 2015.

DJEKIC, I. et al. Assessment of environmental practices in Serbian meat companies. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, n. 112, p. 2495-2504, 2016.

DUDGEON, D. et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, Cambridge, n. 81, p. 163–182, 2006.

EMAMJOMEH, M.; SIVAKUMAR, M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. **J. Environ. Manag**, London, v. 5, n. 90, p. 1663–1679, 2009.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World land and water prospects**. Rome: Land and Water Development Division, 2013.

FILALI-MEKASSI, Y. et al. Design strategy for a simultaneous nitrification/denitrification of a slaughterhouse wastewater in a sequencing batch reactor: ASM2d modeling and verification. **Environ. Sci. Technol.**, London, v. 10, n. 26, p. 1081-1100, 2005.

FLICK, U. Questões de pesquisa. In: FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman. 2009. cap. 9, p. 102-108.

FORAN, B. et al. Integrating sustainable chain management with triple bottom line accounting. **Ecological Economics**, Amsterdã, v. 52, n. 2, p. 143–57, 2005.

FRANKE-WHITTLE, Ingrid; INSAM, Heribert. Treatment alternatives of slaughterhouse wastes, and their effect on the inactivation of different pathogens: a review. **Critical Reviews in Microbiology**, Abingdo, v. 2, n. 39, p. 139–151, 2013.

GANNOUN, H. et al. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of biologically pretreated abattoir wastewaters in an upflow anaerobic filter. **J. Hazard. Mater.**, Amsterdam, v. 1, n. 170, p. 263-271, 2009.

_____ et al. Microbial monitoring by molecular tools of an upflow anaerobic filter treating abattoir wastewaters. **Bioresour. Technol.**, Oxford, n. 142, p. 269–277, 2013.

GERBENS-LEENES, P.; MEKONNEN, M.; HOEKSTRA, A. The water footprint of poultry, pork and beef: a comparative study in different countries and production systems. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 1/2, p. 25 - 36, 2013.

GHAFOORI, S. et al. Sonophotolytic degradation of synthetic pharmaceutical wastewater: statistical experimental design and modeling. **J. Environ. Manag**, London, n. 150, p. 128–137, 2015.

GLEICK, P. H. **Dirty-water**: estimated deaths from water-related diseases 2000-2020. 2002. Disponível em: <http://pacinst.org/reports/water_related_deaths/water_related_deaths_report.pdf>. Acesso em: 02 maio 2018.

HAMAD, D., et al. Experimental study of polyvinyl alcohol degradation in aqueous solution by UV/H₂O₂ process. **Polym. Degrad. Stabil**, Oxford, n.103, v.1, p. 75-82, 2014.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water resources management**, Dordrecht, v. 21, n. 1, p. 35-48, 2007.

JANG, I. et al. Assessing nutrient losses of reclaimed wastewater irrigation in paddy fields for sustainable agriculture. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 104, p. 235-243, 2012.

JAYATHILAKAN, K. et al. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Londres, n. 49, p. 278-293, 2012.

JOHNS, M. R. Developments in wastewater treatment in the meatprocessing industry: a review. **Bioresource Technol**, Oxford, n. 54, p. 203–216, 1995.

KOBYA, M.; SENTURK, E.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. **J. Hazard. Mater.**, Amsterdam, n. 133, p. 172-176, 2006.

KUPUSOVIC, T. et al. Cleaner production measures in small-scale slaughterhouse industry e case study in Bosnia and Herzegovina. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, n. 15, p. 378–383, 2007.

LAKSHMI, K.; REDDY, A. Wastewater: an overview. **International Journal of Contemporary Research and Review**, v. 08, p. 20254-20262, 2017.

LEMAIRE, R. et al. Achieving the nitrite pathway using aeration phase length control and step-feed in an SBR removing nutrients from abattoir wastewater. **Rev. Environ. Sci. Biotechnol.**, Dordrecht, v. 6, n. 100, p. 1228-1236, 2008.

LÓPEZ-LÓPEZ, A. et al. Evaluation of a combined anaerobic and aerobic system for the treatment of slaughterhouse wastewater. **Environ. Science & Technol**, Washington, v. 3, n. 31, p. 319-326, 2010.

LIU, Bingjun et al. The causes and impacts of water resources crises in the Pearl River Delta. **Journal of Cleaner Production**, n. 177, p. 413–425, 2018.

MANIOS, T. et al. Closed wastewater cycle in a meat producing and processing industry. **Resources, Conservation and Recycling**, Colorado, n. 38, p. 335-345, 2003.

MARLOW, H. J. et al. Diet and environment: does what you eat matter? **The American Journal of Clinical Nutrition.**, Bethesda, v. 89, p. 1699–1703, 2009.

McCABE, Bernadette K. et al. A case study for biogas generation from covered anaerobic ponds treating abattoir wastewater: Investigation of pond performance and potential biogas production. **Applied Energy**, Estocolmo, n. 114, p. 798-808, 2014.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**, New York, v. 3, n. 15, p. 401-415, 2012.

MINTZ, Eric et al. Not just a drop in the bucket: expanding access to point-of-use water treatment systems. **American Journal of Public Health**, Bangladesh, v. 91, n. 10, p. 1565-1570, 2001.

MIRANDA, L. A. S.; HENRIQUES, J. A. P.; MONTEGGIA, L. O. A full-scale UASB reactor for treatment of pig and cattle slaughterhouse wastewater with a high oil and grease content. **Braz. Chem. Eng. J.**, Washington, v. 4, n. 22, p. 601–610, 2005.

MITTAL, Gauri S. Treatment of wastewater from abattoirs before land application: a review. **Bioresource Technology**, Oxford, n. 97, p. 1119–1135, 2006.

MOGENSEN, L. et al. Productivity and greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden. **Livestock Science**, Amsterdam v. 174, p. 126-143, 2015.

MOJID, M. et al. Interaction effects of irrigation by municipal watershed and inorganic fertilisers on wheat cultivation in Bangladesh. **Field Crops Research**, Cidade do México, v. 134, p. 200-207, 2012.

MOUKAZIS, I. et al. Slaughterhouse by-products treatment using anaerobic digestion. **Waste Management**, London, n.7, p. 652–662, 2018.

MOWLA, A. et al. Combination of sonophotolysis and aerobic activated sludge processes for treatment of synthetic pharmaceutical wastewater. **Journal Of Chemical And Engineering Data**, Washington, n. 255, p. 411-423, 2014.

PABÓN, S. L.; GÉLVEZ, J. H. S. Starting-up and operating a full-scale activated sludge system for slaughterhouse wastewater. **Ing. Invest.**, Cidade do México, v. 2, n. 29, p. 53-58, 2009.

PALESE, M. et al. Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater: effects on microbiological quality of soil and fruits. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, n. 129, p. 43-51, 2009.

PETERS, G. M. Accounting for water use in Australian red meat production. **Journal Life Cycle Assessment**, Heidelberg, n. 15, p. 311–320, 2010.

RAHMAN, M. et al. Assessment of genotoxic effects of lead in occupationally exposed workers. **Environ Sci Pollut Res**, Bordéus, n. 21, p. 11469–11480, 2014.

RENAULT, D.; WALLENDER, W. W. Nutritional water productivity and diets. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, n. 45, p. 275-296, 2000.

RIDOUTT, B.; PEERASAK, S.; GREGORY, Harpe. Comparing carbon and water footprints for beef cattle production in Southern Australia. **Sustainability**, Switzerland, v. 3, p. 2443-2455, 2011.

RIDOUTT, B; PFISTER, S. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. **Global Environmental Change**, Oxford, n. 20, p. 113–120, 2010.

RODRÍGUEZ, G. et al. Implementation of reverse logistics as a sustainable tool for raw material purchasing in developing countries: the case of Venezuela. **Int. J. Prod. Econ**, Amsterdã, v. 2, n. 141, p. 582–592, 2013.

RÖÖS, E. et al. Can carbono footprint serve as an indicator of the environmental impact of meat production? **Ecological Indicators**, Amsterdam, n. 24, p. 573–581, 2013.

SATYANARAYAN, T. et al. Conventional approach abattoir wastewater treatment. **Environ. Sci. Technol.**, London, n. 26, p. 441–447, 2005.

SENA, R. F. de et al. Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS. **Journal Of Chemical And Engineering Data**, Washington, v. 152, n. 1, p. 151-157, 2009.

SROKA, E. et al. Biological treatment of meat industry wastewater. **Desalination**, Amsterdã, n. 162, p. 85–91, 2004.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. A model of the meat waste management. **Journal of Chemical Technology**, Washington, v. 9, n. 4, p. 1-97, 2000.

VALTA, K. et al. Overview of water usage and wastewater management in the food and beverage industry. **Desalination and Water Treatment**, Londo, n. 1, p. 1-13, 2014.

VIDAL, J.; HUILIÑIR, C.; SALAZAR, R. Removal of organic matter contained in slaughterhouse wastewater using a combination of anaerobic digestion and solar photoelectron-Fenton processes. **Electrochim Acta**, Oxford, n. 210, p. 163–170, 2016.

WEBER, C. L.; MATTHEWS, H. S. Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the United States. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 42, n. 10, p. 3508-3513, 2008

WU, Z.; PAGELL, M. Balancing priorities: decision-making in sustainable supply chain management. **Journals of Operations Management**, Amsterdã, v. 6, n. 29, p. 577-590, 2011.

ZHU, Q. et al. Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 12, p. 1025-1035, 2009.