



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CLARA MARIA DE SOUZA MENEZES

**REUSO DE EFLUENTE CERVEJEIRO TRATADO PARA FINS AGRÍCOLAS – UM
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ESTÂNCIA/SE**

São Cristóvão/SE

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**REUSO DE EFLUENTE CERVEJEIRO TRATADO PARA FINS AGRÍCOLAS – UM
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ESTÂNCIA/SE**

Aluno (a): Clara Maria de Souza Menezes

Orientador: Prof. Dr. Joel Alonso Palomino Romero

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Sergipe.

São Cristóvão/SE

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato (a): **Clara Maria de Souza Menezes**

Título: Reuso de efluente cervejeiro tratado para fins agrícolas – Um estudo de caso no município de Estância/SE

Título em inglês: Brewing effluent reuse for agricultural purposes – A case study in the municipality of Estancia / SE

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Sergipe.

Data da defesa: 28/08/2019

Banca examinadora

Prof. Dr. Joel Alonso Palomino Romero (Departamento de Engenharia Ambiental)
(Orientador)

Prof. Dr. José Jailton Marques (Departamento de Engenharia Ambiental)
(Examinador interno)

Prof. Dr. Daniel Moureira Fontes Lima (Departamento de Engenharia Civil)
(Examinador externo)

RESUMO

É cada vez mais notável que, mesmo com adventos da área tecnológica e avanços mundiais nos mais variados setores da economia, a preocupação com o meio ambiente ainda caminha a passos curtos. A problemática com os recursos hídricos, levando em consideração relatórios de dados anuais de entidades como ANA, CETESB, UNICEF e OMS, apontam como a realidade de consumo e gestão da água tanto por parte da sociedade civil, como de setores da economia, ainda ameaça a sobrevivência das reservas de água espalhadas por todo o planeta. A indústria cervejeira é uma das maiores usuárias em termos de volume de água em escala mundial, perdendo para o setor agropecuário, pioneiro no uso de recursos hídricos em seus processos. Apesar do grande consumo, as cervejarias, de uma forma geral, se mostram bastante amistosas em relação ao meio ambiente, promovendo e investindo em estudos e procedimentos que buscam economizar nas matrizes energéticas e insumos que a mesma usufrui. A prática de reuso de águas residuárias vem se tornando cada vez mais forte e atuante, e, apesar de ainda não ser regulamentada em lei no Brasil, possui diretrizes internacionais que permitem os procedimentos a nível nacional. O presente estudo avaliou a prática do reuso de efluente cervejeiro tratado para irrigação de áreas cultiváveis por meio do projeto social *Efluent Export*, programa implementado por uma Cervejaria local em lotes situados na zona rural do município de Estancia/SE. Três dos oito lotes que compõem a área total do projeto foram estudados no período mais seco do ano na região, entre os meses de dezembro/2018 e março/2019. Em atendimento a Resolução CONAMA nº 420/2009, os resultados se mostraram conformes, atestando que, em condições normais, a água não altera os parâmetros inorgânicos do solo. A água residual tratada mostrou ainda, através de análises laboratoriais, que parâmetros como DBO, DQO, temperatura, pH, condutividade elétrica e sólidos solúveis totais não estão em quantidades suficientes para alterar os processos naturais do solo. Fósforo e nitrogênio totais apresentaram uma alta, beneficiando o complexo planta-solo e atuando como um fertilizante. Em relação as propriedades químicas do solo, as análises mostraram que pH, nitrogênio, potássio e condutividade elétrica não apresentaram mudanças expressivas, porém, o sódio praticamente triplicou em todos os lotes irrigados, alertando para o monitoramento ou estudo de procedimentos que visem diminuir a quantidade do sal no efluente tratado, visto que, a salinidade é um fator limitante para o desenvolvimento da grande maioria de espécies cultiváveis. O projeto, mesmo em apenas três meses de operação, mostrou expectativas muito favoráveis para a prática, necessitando de mais tempo e aprofundamento nas avaliações em outras épocas do ano, com maior influência de fatores externos e realização de correções necessárias.

Palavras chaves: reuso de águas residuárias, efluente industrial, efluente cervejeiro, agricultura.

ABSTRACT

It is becoming increasingly remarkable that, even with the advent of technology and worldwide advances in the most varied sectors of the economy, concern for the environment is still in short stages. The problem with water resources, taking into account annual data reports from entities such as ANA, CETESB, UNICEF and WHO, point out how the reality of water consumption and management by both civil society and economic sectors is still haunting. The survival of water supplies scattered all over the planet. The brewing industry is one of the largest users in terms of water volume in the world, losing to the agricultural sector, pioneer in the use of water resources in its processes. Despite the large consumption, breweries, in general, are very friendly in relation to the environment, promoting and investing in studies and procedures that seek to save on energy matrices and inputs that it enjoys. The practice of wastewater reuse is becoming increasingly strong and active, and, although not yet regulated by law in Brazil, has international guidelines that allow procedures at the national level. The present study evaluated the practice of treated beer effluent reuse for irrigation of arable areas through the social project Effluent Export, a program implemented by a local brewery in lots located in the rural area of Estancia / SE. Three of the eight lots that make up the total area of the project were studied in the driest period of the year in the region, between December / 2018 and March / 2019. In compliance with CONAMA Resolution No. 420 / 2009, the results were consistent, attesting that, under normal conditions, water does not change the inorganic parameters of the soil. The treated wastewater also showed, through laboratory analysis, that parameters such as BOD, COD, temperature, pH, electrical conductivity and total soluble solids are not in sufficient quantities to alter the natural processes of the soil. Total phosphorus and nitrogen increased, benefiting the plant-soil complex and acting as a fertilizer. Regarding the chemical properties of the soil, the analyzes showed that pH, nitrogen, potassium and electrical conductivity did not show significant changes, however, sodium practically tripled in all irrigated lots, alerting to the monitoring or study of procedures aimed at reducing the amount of salt in the treated effluent, since salinity is a limiting factor for the development of the great majority of cultivable species. The project, even in just three months of operation, showed very favorable expectations for the practice, requiring more time and deeper evaluations at other times of the year, with greater influence of external factors and making necessary corrections.

Keywords: wastewater reuse, industrial effluent, brewer effluent, agriculture.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

CE – Condutividade Elétrica

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA – Environmental Protection Agency

ETEI – Estação de Tratamento de Efluente Industrial

NBR – Norma Brasileira

NPK – Nitrogênio-Fósforo-Potássio

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial da Saúde

pH – potencial Hidrogeniônico

SST – Sólidos Solúveis Totais

UNEP – United Nations Environment Programme

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância

USEPA – United State Environment Protection Agency

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	OBJETIVOS	9
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1.	Efluentes industriais	10
3.2.	Reuso de efluentes	11
3.3.	Reuso de Efluente Cervejeiro	14
3.4.	Legislação	18
4.	METODOLOGIA	20
4.1.	Caracterização da área	20
4.2.	Água residuária	22
4.3.	Procedimentos experimentais	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.	CONCLUSÕES	35
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
8.	ANEXO	41

1. INTRODUÇÃO

A problemática envolvendo a crise hídrica mundial vem fomentando uma série de trabalhos e estudos sobre alternativas para reaproveitamento da água em diversos processos e setores da economia, sobretudo, naqueles onde há um maior uso da mesma. Um levantamento recente da UNICEF & OMS (2019) mostra que bilhões de pessoas em todo o mundo continuam sofrendo com o acesso precário a água, saneamento e higiene.

Segundo dados do Governo Federal (2010), apenas 2,5% do volume total de água existente no mundo é potável, e a maior parte das reservas (cerca de 80%) está concentrada em geleiras nas calotas polares. O Brasil possui 12% das reservas de água doce disponíveis no mundo, sendo que a Bacia Amazônica concentra 70% desse volume. O restante é distribuído desigualmente para atender a toda população brasileira. A Região Nordeste possui menos de 5% das reservas e grande parte da água é subterrânea, com teor de sal acima do limite aceitável para o consumo humano.

Diante desses dados alarmantes, é urgente a percepção do problema iminente de escassez de água, canalizando soluções na adoção de práticas de conscientização e reaproveitamento de água em diversas práticas, como podemos citar o reuso de efluente tratado (proveniente de processos industriais, ou de esgoto doméstico).

Segundo dados recentes da Agência Nacional de Águas – ANA (2012), a cada 100 litros de água tratada produzidos no Brasil, 72 vão para o agronegócio. Isso significa dizer que, cerca de 70% do abastecimento é endereçado à agricultura e à pecuária, sendo assim o campeão de consumo. A prática de reuso endereçada a esse setor seria um instrumento de grande valia para a gestão de recursos hídricos em nosso país, sobretudo em regiões de maior escassez, como o Nordeste brasileiro.

A demanda crescente pela utilização da água em processos no agronegócio tem feito do reuso de efluente tratado uma temática de grande relevância e importância. A legislação brasileira para a prática de reuso ainda está em processo de construção, e, enquanto ainda não está em pleno vigor, é aplicada utilizando diversas normas nacionais e internacionais.

Segundo Oliveira & Ribeiro (2013), enquanto a legislação brasileira é deficiente, utiliza-se muito os critérios adotados pela USEPA, e pela OMS que junto com a UNEP lançou a IV edição da “Guia de Uso de Águas Residuárias”, no caso desta edição, o uso na agricultura. Para lançamento de efluente tratado em áreas agrícolas, no Brasil, a Resolução

CONAMA nº 420/2009, que trata sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas, é a mais utilizada para acompanhamento do processo.

Segundo Barros et al. (2015), no Brasil, dentre os principais fatores que contribuíram para que aumentasse o interesse pela irrigação com efluentes, se encontram: a escassez de água, o avanço técnico-científico, a legislação ambiental mais rigorosa e atuante, o maior controle da poluição ambiental, a diminuição dos custos de tratamento com solo devido à atuação, disposição e fornecimento de nutrientes, e matéria orgânica às plantas, reduzindo os custos com fertilizantes químicos comerciais.

O uso de fertilizantes também entra na discussão, se for levada em consideração a quantidade de seu uso que será diminuída com o progresso da prática de reaproveitamento. O reuso na agricultura também pode ser uma alternativa acerca dos fertilizantes, tendo em vista que muitas águas residuárias possuem altas concentrações de NPK, entre estas podemos destacar os esgotos domésticos que são ricos em material orgânico (OLIVEIRA, 2012). Vários setores da economia seriam altamente afetados e beneficiados com o avanço de estudos tanto para economia e reuso de água, quanto para a diminuição do uso de fertilizantes, em especial, vertentes econômicas detentoras de significativas quantidades de água em seus processos, como, por exemplo, a indústria cervejeira.

De acordo com Senthilraja, Jothimani & Rajannan (2013), a cerveja é a quinta bebida mais consumida no mundo, justificando o fato da indústria cervejeira ser uma das maiores usuárias de água em escala mundial. Apesar de melhorias tecnológicas substanciais terem sido feitas no passado, foi documentado que aproximadamente 3 a 10 litros de águas residuais são gerados por litro de cerveja. Dentre as inúmeras ações em prol da economia de água realizadas pelo setor cervejeiro, podemos citar: o reuso de efluente tratado para irrigação e agricultura.

Diante do exposto, o presente trabalho disserta e aponta resultados sobre a eficiência da prática de reuso, por meio do reaproveitamento de efluente cervejeiro tratado em áreas de cultivo, como parte do projeto social *Efluent Export*, desenvolvido por uma Cervejaria na zona rural do município de Estancia/SE.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo a avaliação da prática de reuso de efluente cervejeiro tratado para irrigação de áreas cultiváveis, no projeto social *Efluent Export*, implementado na zona rural do município de Estancia/SE.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar, em dado período de execução do projeto, a evolução de parâmetros específicos do solo vide CONAMA nº 420/2009, tomando como base um dos limites quantitativos de substâncias químicas no solo contida nessa legislação, o Valor de Investigação Agrícola – VI Agrícola;
- Estudar os efeitos, benefícios e impactos da prática de reuso com efluente cervejeiro tratado, em relação a características químicas do solo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Sabemos que a água participa ativamente como matéria-prima e auxiliar de vários processos econômicos, entre os quais se encontram vários ramos de serviços, comércio e indústria. De um modo geral, a qualidade e a quantidade de água necessária para as atividades industriais dependem do ramo de atividade da indústria e sua capacidade de produção (HESPANHOL; MIERZWA, 2005).

3.1. Efluentes industriais

De acordo com a NBR 9800 (ABNT, 1987), efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico. A utilização de água pela indústria pode ocorrer de diversas formas, tais como: incorporação aos produtos; limpezas de pisos, tubulações e equipamentos; resfriamento; aspersão sobre pilhas de minérios, etc. (GIORDANO, 2004)

Von Sperling (1996) discorre que, além da utilização industrial da água, esta também é utilizada para fins sanitários, sendo gerados os esgotos que na maior parte das vezes são tratados internamente pela indústria, separados em tratamentos específicos ou tratados até conjuntamente nas etapas biológicas dos tratamentos de efluentes industriais.

Ao falar de efluentes industriais, com composição e concentrações extremamente variáveis devido à grande variedade de indústrias, torna-se fundamental que cada um seja estudado de modo diferente e exclusivo (NUNES, 1996). E esse estudo dá-se através do acompanhamento de alguns parâmetros.

- **Matéria Orgânica**

É considerado, segundo Nunes (1996), como o principal poluente dos corpos d'água porque é utilizado como alimento para diversos microrganismos, causando o consumo de oxigênio dissolvido do corpo hídrico. Tem como principais elementos o carbono, hidrogênio e oxigênio, mas pode conter nitrogênio, fósforo, enxofre e ferro, dependendo da sua origem.

Von Sperling (1996) ainda afirma que o nitrogênio e o fósforo são elementos que estão presentes nos esgotos sanitários e nos efluentes industriais e são nutrientes essenciais no crescimento dos microrganismos que degradam a matéria orgânica, causando problemas

devido à proliferação de plantas aquáticas nos corpos receptores. Nos esgotos sanitários são provenientes dos próprios excrementos humanos, mas atualmente têm fontes importantes nos produtos de limpeza domésticos e ou industriais tais como detergentes e amaciantes de roupas.

No entanto, em algumas águas residuárias industriais estes elementos são encontrados em pouca quantidade, ao contrário de nos esgotos domésticos, que possuem elevadas concentrações desses elementos (NUNES, 1996).

Diante da variedade de parâmetros de análises para escolha e monitoramento do tratamento de efluentes, como DBO, DQO, sólidos totais, metais, agentes biológicos, gases, pH e temperatura, para cada cenário de efluente, ainda é possível definir parâmetros adicionais como análise de pesticidas, para serem analisados em amostras do efluente que receberá o tratamento escolhido.

- Características do efluente cervejeiro

O efluente final de uma cervejaria é um fluido orgânico que contém nitrogênio e fósforo e uma gama de compostos orgânicos e inorgânicos (TAYLOR et al, 2018). A origem dos efluentes da indústria de bebidas, de acordo com Santos e Ribeiro (2005), é das etapas de lavagem de vasilhames, equipamentos, pisos, esterilização de tanques e tubulações, das águas de sistemas de resfriamento, das águas utilizadas diretamente no processo de fabricação, do descarte de produtos que ficaram fora dos padrões ou que retornaram do mercado, além do esgoto sanitário decorrente do corpo de funcionários.

Em cervejarias, há o consumo específico de água de 5 a 20 m³/m³ de cerveja produzida (NUNES, 1996). O efluente resultante desse segmento industrial apresenta elevada carga orgânica, decorrente do açúcar do xarope e dos extratos vegetais utilizado para a produção de bebidas (SERENO FILHO et al., 2013), DBO entre 1000 e 2000 mg/l, pH entre 6,4 e 7,5; DQO/DBO de aproximadamente 2, o que indica boa biodegradabilidade; sólidos suspensos inorgânicos sedimentáveis e nutrientes insuficientes para tratamento biológico (NUNES, 1996).

Embora apresentando propriedades comuns, a caracterização deste efluente varia de acordo com o processo produtivo, principalmente devido à tecnologia empregada durante as etapas de fabricação das bebidas (SERENO FILHO et al., 2013).

3.2. Reuso de efluentes

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), no uso de efluentes tratados ou sem tratamento há o objetivo de trazer benefícios ao processo que é inserido, seja na irrigação, na indústria ou nas cidades. Esse efluente em questão pode ser reutilizado no próprio estabelecimento que o gerou ou em processos externos em que seja possível substituir o uso da água bruta.

Brega Filho e Mancuso (2003) afirmam que, o termo reuso, no ambiente industrial, pode ser confundido com reciclagem, no entanto, vale ressaltar que o termo reciclagem é definido como o reuso interno da água para o uso original, diferente do reuso, que significa que o efluente está sendo utilizado por um usuário ou processo diferente daquele que o gerou. Assim, pode ser considerado como reciclagem, então, o reuso planejado direto da água para fins potáveis, de modo que os efluentes tratados sejam utilizados novamente pela mesma entidade que os produziu, num circuito fechado.

A classificação adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) divide o reuso da água em duas grandes categorias: potável e não potável (BREGA FILHO; MANCUSO, 2003), onde:

3.2.1. Reuso potável

- a) Reuso potável direto: ocorre quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. No entanto, essa escolha requer um sistema de tratamento avançado, que pode não ser vantajoso para a escolha.
- b) Reuso potável indireto: é o caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilização como água potável. Então, é onde o tratamento do esgoto é empregado com o objetivo de adequar a qualidade do efluente na estação aos padrões de emissão e lançamento nos corpos d'água.

3.2.2. Reuso não potável

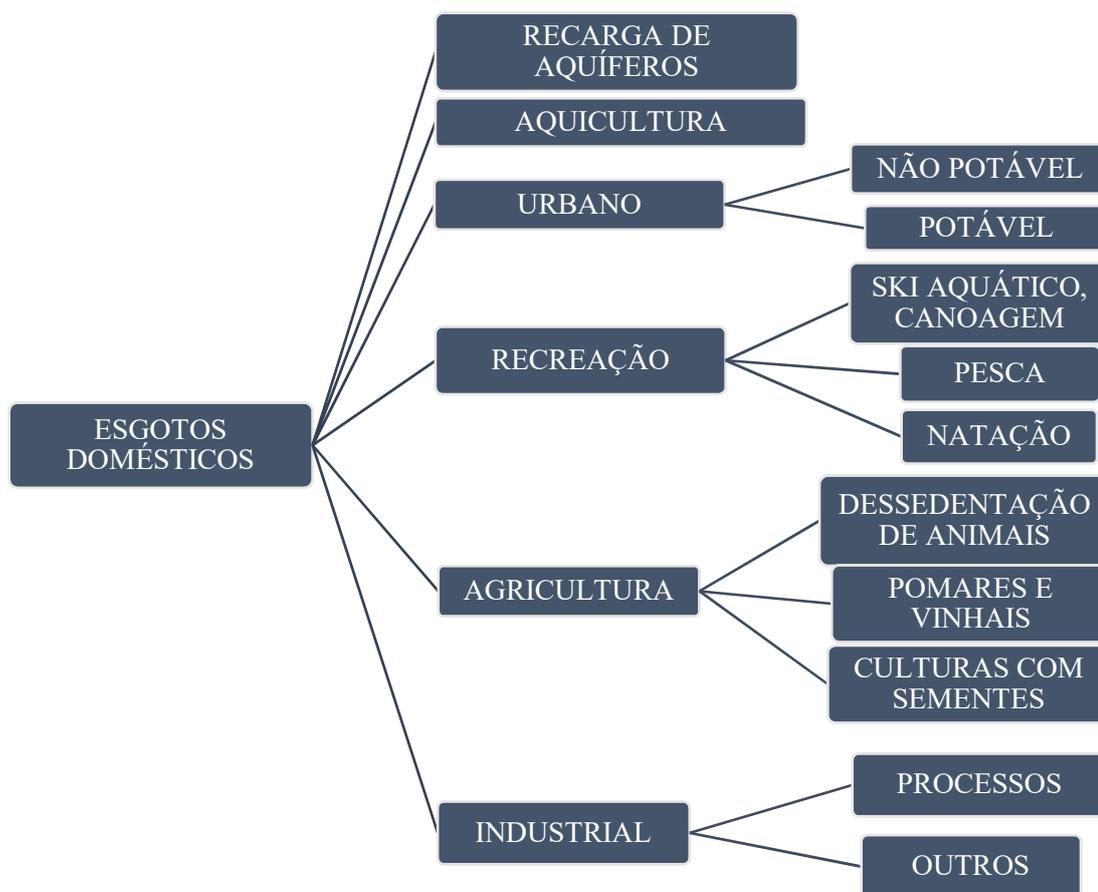
- a) Reuso não potável para fins agrícolas: o objetivo desta prática é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais, etc, e de plantas não alimentícias tais como pastagens e forrações, além de ser aplicável para dessedentação de animais.

Esta modalidade de reuso pode gerar como subproduto, indiretamente, recarga do lençol subterrâneo;

- b) Reuso não potável para fins industriais: abrangem os usos industriais de refrigeração, águas de processo, utilização em caldeiras, limpeza, entre outros fins;
- c) Reuso não potável para fins recreacionais: classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques, gramados e também para enchimento de lagoas ornamentais. Em áreas urbanas pode-se considerar ainda a irrigação de parques públicos, árvores e arbustos ao longo de rodovias, chafarizes e espelhos d'água;
- d) Reuso não potável para fins domésticos: são considerados aqui os casos de reuso de água para rega de jardins residenciais, para descargas sanitárias e utilização desse tipo de água em grandes edifícios. Pode-se considerar também o reuso para reserva de incêndio, lavagem de automóveis e pisos;
- e) Reuso para manutenção de vazões: a manutenção de vazões de cursos de água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carreadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem;
- f) Reuso na aquicultura: consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados;
- g) Reuso para recarga de aquíferos subterrâneos: é a recarga dos aquíferos subterrâneos com efluentes tratados, podendo se dar de forma direta através de injeção pressionada, ou de forma indireta utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante. A recarga objetiva o aumento da disponibilidade e armazenamento de água nos aquíferos subterrâneos.

A Figura 1 apresenta um fluxograma que resume alguns tipos de reuso e suas formas potenciais considerando a reutilização de esgotos domésticos e industriais.

Figura 1: Formas potenciais de reúso da água



Fonte: Moruzzi (p. 274, 2008) *apud* Hespanhol (2002).

3.3. Reuso de Efluente Cervejeiro

Segundo Olajire (2012), juntamente com crescimento do consumo de cervejas distintas e do aumento das microcervejarias surge a preocupação ambiental. Na mesma medida que a destruição do meio ambiente traz o ônus das multas, sanções e processos por crimes ambientais, a fiscalização e a intervenção, por parte do poder público e da sociedade, podem gerar muitas despesas em um espaço de tempo relativamente curto além de elevados custos de fabricação.

Segundo a CervBrasil (2019), o setor cervejeiro brasileiro possui uma atuação histórica na promoção do uso sustentável e na redução dos índices de utilização da água em seus processos produtivos. As associadas da Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CervBrasil) – que juntas representam 96% do mercado cervejeiro no país – possuem importantes projetos de preservação de mananciais e bacias hidrográficas, de tratamentos de efluentes e programas de reuso da água aplicada no processo industrial. Todo o cuidado

garante não apenas a qualidade da água e da cerveja, como também minimiza os riscos de que o setor encare eventuais desabastecimentos.

Neste sentido, a água é o componente da cerveja e do processo de produção da mesma que gera maiores problemas de ordem ambiental. A água é o insumo em maior quantidade na cerveja, podendo chegar a até 90% do volume final do produto (VENTURINI FILHO, 2005). Estima-se que para cada litro de cerveja fabricado, são utilizados cerca de dez litros de água. Esse consumo elevado é resultado, principalmente, dos processos de higienização e arrefecimento (SIMATE et al., 2011).

A CervBrasil (2019) afirma que, atualmente, a indústria cervejeira utiliza em média 4,5 litros de água para cada litro de bebida produzida. A meta é que todo o setor reduza ainda mais o consumo e atinja a marca de 3,61 litros de água a cada litro de cerveja produzido nos próximos anos, patamar que já é realidade em algumas fábricas. Para atingir este resultado são adotadas boas práticas, como o reaproveitamento de água durante o processo produtivo (recirculação), o reuso de água residuária, e a captação de água da chuva.

O advento dos estudos acerca reuso de efluente cervejeiro cresce cada vez mais dentro da cultura desse setor, tanto para processos dentro da própria fábrica, quanto para usos externos.

- Reuso de água para fins agrícolas

Hespanhol (2002) ressalta a importância de se atribuir prioridade para institucionalizar, promover e regulamentar o reuso para fins agrícolas, em âmbito nacional. Paganini (2003) afirma que, nas últimas décadas, o uso de esgotos para a irrigação vem crescido significativamente, o mesmo autor cita alguns motivos que levaram a esse crescimento, sendo eles:

- Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de água. Os corpos hídricos estão cada vez mais assoreados e com baixa lâmina d'água, impossibilitando o uso;
- Custo elevado de fertilizantes, que podem ser substituídos pelos nutrientes presentes nas águas residuárias;
- A segurança de que os riscos para a saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se todas as medidas preventivas forem tomadas;
- Os custos elevados do sistema de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores;

- A aceitação sociocultural do reuso agrícola, ou seja, essa prática já está sendo disseminada e aceita pela sociedade como uma oportunidade de agricultura sustentável;
- O reconhecimento, pelos órgãos e gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

Atualmente, a aplicação de esgotos e efluentes no solo é vista como uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semi-áridas (HESPANHOL, 2003). É uma atividade de imensa responsabilidade e importância socioambiental.

Telles e Costa (2010) afirmam que a aplicação do reuso na agricultura deve ser administrada e tecnicamente planejada, com o intuito de otimizar seus resultados e minimizar seus riscos, com cuidados, não só com o tipo de efluente utilizado, como na técnica da irrigação aplicada, seus mecanismos, condição de segurança a saúde dos trabalhadores, assim como no controle de impactos e viabilidade técnica. Entre os riscos do reuso não planejado, podem-se destacar:

- Comprometimento da saúde pública;
- Contaminação do solo;
- Contaminação de lençol freático;
- Acúmulo de nitratos, compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos;
- A presença de microrganismos patogênicos pode resultar em problemas sanitários pela contaminação de culturas, água, solo e ar;
- Acúmulo de contaminantes químicos no solo;
- Aumento significativo de salinidade, em camadas insaturadas.

Existem estudos em diversos países que comprovam o aumento da produtividade agrícola. De acordo com Sanchez (2015), pesquisadores da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Estadual Paulista (Unesp) estudaram o uso de esgoto tratado para a irrigação em lavouras do gênero Braquiária, pasto que pode ser cultivado em qualquer lugar do país. Foi observado o quanto que a cultura responde em rendimento: aumentou a produtividade em 60% aliada a uma expressiva economia de nutriente, visto que produz mais com menor custo. Em relação ao impacto no solo, concluiu que a cultura absorvia todo o nutriente. Os estudos ainda apontam uma economia de cerca de 50 mil litros de água por hectare, por dia.

Gonçalves et al (2017) realizaram estudos buscando avaliar as relações hídricas, o crescimento vegetativo, a produtividade e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado por gotejamento subsuperficial. A pesquisa, realizada na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas – SP, constatou que a prática promoveu aumento nas trocas gasosas, potencial hídrico foliar, teor foliar de nitrogênio e magnésio e clorofila, influenciando o maior desenvolvimento vegetativo, produtividade do caule e açúcar quando comparado ao cultivo com a irrigação convencional (com água).

Pode ser citado também o trabalho de Bertolazi et al. (2016) que investigaram a viabilidade do uso de composto de lodo de esgoto, proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico, como fertilizante para o cultivo inicial de eucalipto, híbrido. O experimento foi realizado em Araras/SP, e concluiu que o composto de lodo de esgoto não influencia na altura das plantas e nos teores de nutrientes nas folhas de eucalipto. A substância teve função nutritiva similar à adubação convencional no incremento de biomassa, logo, a mesma apresenta potencial para substituir fertilizantes minerais convencionais no crescimento inicial de plantas de eucalipto.

Portanto, a produtividade é maior quando aplicado esgotos nesses tipos de plantações, superando inclusive, o uso de fertilizantes conhecidos como o NPK. Isso acontece, porque, segundo Hespanhol (2003), efluentes de sistemas de tratamento convencionais, como lodo ativado, tem concentração típica de 15 mg/L de N total e 3 mg/L de P total e então, considerando que sejam aplicadas as taxas de irrigação de aproximadamente 2 metros por ano, obtemos a marca de uma aplicação de N e P de 300 e 60 kg/ha.ano, respectivamente.

O reuso de água no meio agrícola pode trazer benefícios ambientais e de saúde pública quando planejados e administrado corretamente (HESPANHOL, 2003), sendo eles:

- Diminuição das descargas de esgotos em corpos de água;
- Preservação de recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a exploração dos aquíferos impacta na salinidade da água subterrânea e na estabilidade do terreno;
- Permite a conservação do solo, pela acumulação de húmus e aumenta a resistência à erosão;
- Aumenta a concentração de matéria orgânica do solo possibilitando maior retenção de água;

- Contribui para o aumento da produção de alimentos, principalmente em áreas carentes, podendo então elevar os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reuso.

- Reuso de efluente cervejeiro na agricultura

De acordo com Ishiwaki et al. (2000), a indústria cervejeira gera quantidades relativamente grandes de subprodutos e resíduos, como grãos usados, lúpulos e leveduras. No entanto, como a maioria destes são produtos agrícolas, eles podem ser prontamente reciclados e reutilizados. Assim, em comparação com outras indústrias, a indústria de cerveja tende a ser mais amiga do ambiente.

Qadir et al. (2003) indicaram que a reutilização do efluente proveniente do processo de sintetização da cerveja por meio de um sistema baseado em plantas reduz, significativamente, a quantidade de águas residuais que requerem gerenciamento ou descarte adicional.

O efluente residual proveniente de uma cervejaria tem composição rica em nitrogênio, fósforo, e uma grande variedade de compostos orgânicos e inorgânicos. (POWER & JONES, 2016). De acordo com Epsten & Bloom (2005), esses nutrientes são essenciais para o crescimento e a saúde das plantas, de modo que, o efluente da cervejaria tem o potencial de ser usado como fonte de água e nutrientes na produção de culturas irrigadas.

No entanto, o efluente também tem propriedades que inibem o crescimento de plantas e deteriora o perfil físico do solo e fertilidade quando usado para irrigar as culturas (KAUSHIK et al., 2005). A reutilização dessas águas residuais requer uma gestão cuidadosa para evitar potenciais problemas, como a salinização secundária (SENTHILRAJA, JOTHIMANI & RAJANNAN, 2013).

Se bem planejada, a disposição de águas residuárias no sistema solo-planta poderá trazer benefícios, tais como fonte de nutrientes e água para as plantas, redução do uso de fertilizantes e de seu potencial poluidor (ERTHAL et al, 2010).

3.4. Legislação

Segundo Oliveira & Ribeiro (2013), atualmente no Brasil não existe uma legislação que estabeleça a quem cabe o controle da qualidade da água de reuso. Em relação ao reuso

agrícola, em que há a disposição do esgoto tratado no solo, no estado de São Paulo existe a necessidade de uma avaliação por parte da Cetesb.

A necessidade de se lançar mão do reuso de águas servidas no Brasil, e em especial em algumas regiões com deficiência de oferta de recursos hídricos, é tão grande quanto a urgência em se discutir critérios, normas, procedimentos e legislação (MUFFAREG, 2003).

Setti (1995) fala que, a ênfase legislativa, portanto, incide na racionalização dos usos primários da água, estabelecendo princípios e instrumentos para sua utilização. Pouco ou quase nada houve de preocupação legislativa no Brasil para fixação de princípios e critérios para reutilização da água. O estabelecimento de políticas públicas com a participação da sociedade civil é a forma mais eficaz de tratamento dos problemas gerados pelos conflitos de uso da água (FINK & SANTOS, 2002).

São mais apropriadas, acerca do reuso, as legislações aplicadas a finalidade daquela prática. Oliveira & Ribeiro (2013) disserta que, de uma forma geral, utiliza-se muito os critérios adotados pela USEPA, e pela OMS junto com a UNEP.

Ao classificar as águas, a Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) indica e define os usos preponderantes, definindo, conseqüentemente, o reuso indireto. As águas de Classe 1 destinam-se a vários usos e reusos indiretos, entre eles está a alínea d do inciso II da Seção I do art. 4 da Resolução:

“• à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película (reuso agrícola);”

O uso legislativo mais comum em casos de reuso para fins agrícolas é, além de atender a padrões de lançamento de efluentes definidos pela Resolução CONAMA nº430 (Brasil, 2011), dispor de consulta a Resolução CONAMA nº 420 (Brasil, 2009) que,

Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

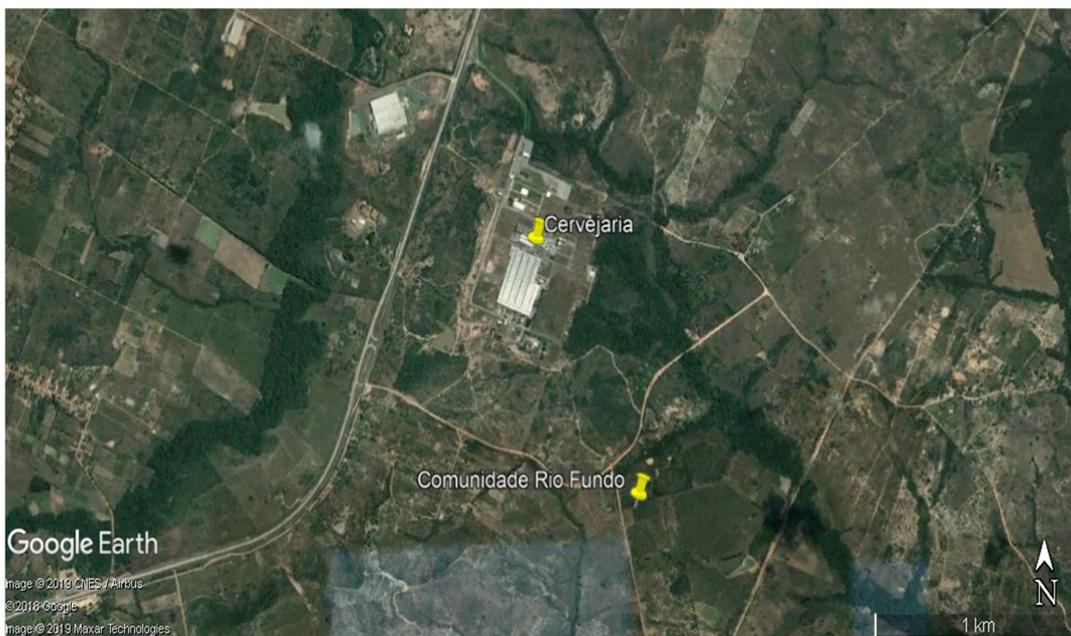
Através dela, com um acompanhamento prévio, é possível avaliar e monitorar os parâmetros do solo na presença de técnicas de reuso de águas residuárias para fins agrícolas.

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da área

A área de estudo (Figura 2), denominada comunidade do Rio Fundo, fica localizada na zona rural do município de Estância, estado de Sergipe. O município está localizado a 57 m de altitude, e a comunidade tem coordenadas geográficas 11° 8'15.24" latitude Sul e 37°22'16.31" longitude Oeste.

Figura 2: Área de estudo



Fonte: Google Earth (2019)

De acordo com o Climate-Data.org (2019), seguindo a classificação de Köppen e Geiger, o clima do município de Estância é classificado como Am (clima de monção tropical). A temperatura média é de 25 °C, e pluviosidade média anual de 1465 mm. O período que vai de outubro a fevereiro é caracterizado por ser o mais seco em médias pluviométricas.

Os lotes (Figura 3) contam com uma área total de 35,60 hectares, dividida em 8 lotes, pertencentes à pequenos agricultores que habitam a redondeza. Além de receberem insumos, representam campo para estudos e pesquisas dirigidas por uma Cervejaria local. O projeto, chamado *Efluent Export* apresenta cunho social, visto que os agricultores não precisam pagar pelo incentivo em suas terras.

Figura 3: Lote do *Efluent Export*



Fonte: A autora (2019)

O projeto, que tem como objetivo principal a destinação da água residuária tratada para irrigação dos lotes, procura alinhar os seus objetivos de estudo aos usos da terra e ao tipo de cultura que será implantada (Figura 4). Visando, além do objetivo social, o enquadramento à legislação nacional e internacional, desde o início do projeto, a Cervejaria faz análises de solo trimestrais para um melhor acompanhamento do desempenho de suas ações, além do próprio controle socioambiental para envio de dados aos órgãos fiscalizadores.

Figura 4: Lote em processo de irrigação



Fonte: A Autora (2019)

O solo da área de estudo, conforme classificação da Embrapa (2006), é do tipo Podzólico Vermelho Amarelo Tb, tendo um aspecto úmido e coloração marrom, pertence à classe dos Argissolos que possuem classificações variadas quanto a permeabilidade, podendo ser de fortemente drenado à imperfeitamente drenados, mas no geral apresenta boa permeabilidade. Para o presente estudo, foram estudados 3 dos 8 lotes (de numerações 04, 12 e 26), escolhidos de forma que abrangesse um lote para cada setor da área total. A forma de irrigação é a aspersão (Figura 5).

Figura 5: Forma de irrigação dos lotes



Fonte: A autora (2019)

4.2. Água residuária

Contando com uma produção média mensal de 200.000 hl de cerveja, a Cervejaria costuma gerar mensalmente cerca de 50.000 m³ de efluente bruto para ser tratado, caracterizado com uma carga orgânica inicial de até 5.000 mg/L. Tendo capacidade de 200 m³/h, a Estação de Tratamento de Efluente Industrial (ETEI) (Figura 6), localizada no interior da unidade da Cervejaria, conta com um tratamento que envolve as etapas descritas a seguir, sucessivamente:

- Pré-tratamento (gradeamento, caixa de areia e peneiras);
- Tanque de equalização;

- Reator anaeróbio do tipo IC (eficiência de 80% de remoção de DQO);
- Reator aeróbio (Figura 7) (eficiência de 90% de remoção de DQO);
- Decantadores;
- Caixas elevatórias.

Figura 6 - Estação de Tratamento de Efluentes Industriais da Cervejaria



Fonte: A autora.

Figura 7 - Reator Aeróbio da ETEI da Cervejaria



Fonte: A autora

A supervisão sobre o efluente que chega na estação é feita através de planilhas de acompanhamento (Figura 8), as quais calculam a carga orgânica e viabiliza os parâmetros de descartes de todas as áreas. Existe um acordo de nível de serviço em que todas as áreas têm a obrigação de reportar todos os seus despejos gerados, acompanhados de seus respectivos dados de quantidade, temperatura e concentração. Todo esse controle se torna necessário para que o tratamento não seja prejudicado com a variação brusca de algum parâmetro, e assim, a

qualidade do efluente final (Figura 9) não seja alterado de forma que fuja das condições ideais de lançamento, estabelecidas por padrões e internos que atendem a Resolução CONAMA 430/11.

Figura 8 - Planilha de Cálculo de Carga Orgânica para autorização de descartes

Cálculo de descarte de Carga Orgânica:

A ser digitado
 Cálculo automático

Atividade do lodo	0,3	m'	Vazão de entrada Reator IC	100	m ³ /h
Massa do lodo	42423,4	kg ST	DQO Tanque Equalizador	3376	mg/l
Capacidade de tratamento	12727	kgDQO/Dia	DQO Tanque Equalizador	3.376	kg/m ³
Capacidade de tratamento	530,292	kgDQO/Hora	Massa - (kg de DQO.):	337,6	kg DQO/Hora
Sobra do tratamento	192,692	kgDQO/Hora			

Descarte e DQO: MOSTO 27380

DQO (%): 27380 mg/l 27,38 kg/m³

Volume: 48 hL 4,8 m³

Massa - (kg de DQO): 131,424 kg DQO produto

m³ despejo: 193 kg DQO Despejo/Hora

Tempo de Descarte: 0,68 Horas 0,03 Dias

Fonte: A autora.

Figura 9 - Efluente tratado x Efluente Bruto



Fonte: A autora (2019)

O efluente, após passar por todas as etapas de tratamento, passa por um medidor de vazão (Figura 10) e se direciona à uma tubulação principal, para, posteriormente, se conectar à tubulação de irrigação (Figura 11).

Figura 10: Medidor de vazão (calha Parshall) ao final do processo de tratamento



Fonte: A autora (2019)

Figura 11: Local de encontro entre a tubulação principal do efluente tratado e a tubulação que leva água para irrigação



Fonte: A autora (2019)

A planta completa do projeto *Efluent Export* pode ser observada na Figura 12, disposta no Anexo A, ao final do trabalho.

4.3. Procedimentos experimentais

As coletas para o estudo em questão foram feitas 3 meses após a implantação do projeto (entre os meses de dezembro/2018 e março/2019). Esse período, na região, comumente apresenta baixos índices de pluviosidade. Logo, a variável chuva não apresentará tanta interferência nos resultados. Amostras do solo foram retiradas de forma composta, em cinco repetições no espaço. Os lotes estudados foram os de numeração 04, 12 e 26. O procedimento teve auxílio de trado tipo holandês, nas camadas 0-30 cm de profundidade do solo.

Os ensaios foram realizados por uma empresa contratada. Sua unidade matriz, onde foram feitos todos os ensaios, fica localizada no município de Piracicaba/SP. Os métodos de determinação e preparo foram baseados em diretrizes da EPA, e são de total responsabilidade da contratada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos critérios avaliadores de qualidade do solo e monitoramento de substâncias químicas, as análises mostraram eficiência quanto ao atendimento à Resolução CONAMA nº 420/2009, como pode ser mostrado nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Resultados de análise comparativa do Lote 04

Parâmetros (mg/kg)	Resultados	VI Agrícola*
Antimônio	< 1,0	5,0
Arsênio	< 1,0	35,0
Bário	11,3	300,0
Cádmio	< 0,1	3,0
Chumbo	3,90	180,0
Cobalto	1,20	35,0
Cobre	20,9	200,0
Cromo	8,30	150,0
Mercúrio	< 0,05	12,0
Molibdênio	< 1,0	50,0
Níquel	2,20	70,0
Prata	< 1,0	25,0
Zinco	8,50	450,0
Benzeno	< 0,003	0,06
Estireno	< 0,01	15,0
Etilbenzeno	< 0,006	35,0
Tolueno	< 0,006	30,0
Xileno	< 0,018	25,0
Benzo(a)antraceno	< 0,0025	9,0
DDT (isômeros)	< 0,005	0,55

Tabela 2: Resultados de análise comparativa do Lote 12

Parâmetros (mg/kg)	Resultados	VI Agrícola*
Antimônio	< 1,0	5,0
Arsênio	< 1,0	35,0
Bário	38,5	300,0
Cádmio	< 0,1	3,0
Chumbo	7,60	180,0
Cobalto	1,30	35,0
Cobre	19,1	200,0
Cromo	21,1	150,0
Mercúrio	< 0,05	12,0
Molibdênio	< 1,0	50,0
Níquel	3,60	70,0
Prata	< 1,0	25,0
Zinco	10,3	450,0
Benzeno	< 0,003	0,06
Estireno	< 0,01	15,0
Etilbenzeno	< 0,006	35,0
Tolueno	< 0,006	30,0
Xileno	< 0,019	25,0
Benzo(a)antraceno	< 0,0025	9,0
DDT (isômeros)	< 0,055	0,55

Tabela 3: Resultados de análise comparativa do Lote 26

Parâmetros (mg/kg)	Resultados	VI Agrícola*
Antimônio	< 1,0	5,0
Arsênio	1,40	35,0
Bário	13,7	300,0
Cádmio	< 0,1	3,0
Chumbo	5,00	180,0
Cobalto	1,10	35,0
Cobre	22,3	200,0
Cromo	9,70	150,0
Mercúrio	< 0,05	12,0
Molibdênio	< 1,0	50,0
Níquel	1,90	70,0
Prata	< 1,0	25,0
Zinco	10,3	450,0
Benzeno	< 0,002	0,06
Estireno	< 0,01	15,0
Etilbenzeno	< 0,006	35,0
Tolueno	< 0,006	30,0
Xileno	< 0,017	25,0
Benzo(a)antraceno	< 0,0025	9,0
DDT (isômeros)	< 0,005	0,55

* VI Agrícola: Valor de Investigação Agrícola

Em todos os lotes estudados, comparando-se os resultados obtidos para as amostras com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009 para os Valores de Investigação para Área Agrícola (concentração, segundo a Resolução referida, de determinadas substâncias no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado), foi constatado que os parâmetros abordados satisfazem os limites permitidos.

A partir dos dados do efluente na saída da ETEI (Tabela 4), pode-se mencionar um breve comparativo com outros tipos de águas utilizadas para irrigação de áreas cultiváveis, sendo E₁ o efluente da Cervejaria na forma bruta (resultados cedidos pela empresa); E₂ o efluente final da Cervejaria, totalmente tratado (resultados concedidos pela empresa, análise realizada em setor laboratorial específico por equipe de químicos especializada); E₃ um efluente proveniente de indústria cervejeira, passando pela forma de tratamento de wetlands, estudo de Taylor et al. (2018); e E₄, um efluente caracterizado como esgoto doméstico, após passar por tratamento de leito de raízes cultivado, estudo de Varallo et al. (2010).

Tabela 4: Dados do efluente final

Parâmetros	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	Valores máximos permissíveis para
					lançamento em corpos hídricos (vide CONAMA nº 430/2011)
DBO (mg/L)	5.423,0	15,0	238,71	74,0	2.000 ¹
DQO (mg/L)	4.770,0	21,0	141,30	149,2	----
Temperatura (°C)	40,0	30,98	25,0	23,0	40,0
pH	6,5	8,14	9,85	6,9	Entre 5 e 9
CE (dS/m)	7,63	1,40	3,75	0,53	----
SST (mg/L)	500,0	0,23	5,91	2,3	1,0
Fósforo Total (mg/L)	32,4	42,4	17,31	5,4	----
Nitrogênio Total (mg/L)	24,0	31,7	7,87	44,0	----

¹A norma determina que haja uma remoção mínima de 60%. No caso da Cervejaria, o efluente bruto possui uma DBO = 5.000 mg/L. Considerando a diminuição mínima de 3.000 mg/L, resultaria um valor máximo de 2.000 mg/L para lançamento.

Algumas dessas variáveis listadas possuem papel fundamental no sistema planta-solo. A DBO, variável intrinsecamente ligada a matéria orgânica, a princípio pode estimular o pensamento de que ajudaria no desenvolvimento da planta, porém, estudos de Pessin (2003) comprovam que o excesso na DBO está intimamente ligado a um aumento na atividade microbiológica do solo e conseqüente proliferação de vetores prejudiciais aos consumidores dos produtos dessa terra.

Da mesma forma se comporta a DQO, que possui uma linha tênue entre benefícios e malefícios e merece atenção, visto que, segundo Segato & Silva (2010), o excesso na DQO acelera as reações químicas microbiológicas provenientes do alto teor de matéria orgânica, muitas vezes formando compostos indesejáveis para aquele solo, tornando-se, para aquele meio, um contaminante.

Estudos de Tyson et al. (2007) afirmam que, apesar do solo possuir alta capacidade tamponante (atributo a sistemas que conseguem resistir a mudanças bruscas de pH, assim como promover a sua neutralização), valores elevados de pH acima de 8,5 podem causar a precipitação de Fe^{2+} , Mn^{2+} , PO_4 , Ca^{2+} e Mn^{2+} em sais insolúveis e não disponíveis, saturando o meio, alterando a disponibilidade catiônica de outros elementos e dificultando o desenvolvimento das espécies.

A condutividade elétrica (CE) pode ser considerada como uma medida indireta para entendimento e classificação da salinidade de um solo. Segundo Silva, Duarte & Coelho (1999), solos são considerados salinos quando contêm concentração de sais solúveis em quantidades elevadas para interferir no crescimento da maior parte das espécies cultivadas. Além do efeito dos sais sobre o potencial osmótico do solo e a toxicidade destes sobre as plantas, devemos também considerar os efeitos sobre a estrutura do solo.

O teor de SST em águas utilizadas para irrigação de áreas cultiváveis é um parâmetro que deve ser altamente controlado, principalmente no sentido sanitário. Segundo Blum (2003), um sistema solo-planta com teores elevados de sólidos suspensos pode abrigar grandes colônias de micro-organismos, sendo assim, o monitoramento se faz necessário como forma de controle da proliferação desses, que, fora de controle, podem acarretar prejuízos ao ser humano como consumidor da cultura na qual se utilizou a água de reuso para o desenvolvimento.

Fósforo e nitrogênio são macronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, logo, o seu suprimento pode ser considerado como benéfico, visto que atuaria

como uma espécie de adubo orgânico para o complexo solo-planta. Isso não dispensa o monitoramento, como forma de controle.

Em relação às propriedades químicas do solo, foram pontuados alguns aspectos determinantes para análise, como pH, nitrato (N), potássio (K), sódio (Na) e condutividade elétrica (CE). A Tabela 5 apresenta as concentrações encontradas do solo natural (S₁) e após a aplicação da água de reuso (S₂).

Tabela 5: Caracterização do solo antes e após irrigação com efluente cervejeiro tratado

	pH		N (mg/L)		K (mg/L)		Na (mg/L)		CE (dS/m)	
	S ₁	S ₂								
Lote 04	5,7	5,8	8,35	7,21	7,47	6,89	6,03	18,31	0,12	0,18
Lote 12	5,6	5,7	8,59	7,69	7,35	6,91	6,15	17,89	0,10	0,17
Lote 26	5,7	5,8	8,81	7,40	7,33	6,93	6,24	18,78	0,14	0,20

Os valores de pH, nitrato e potássio se mostraram quase que constantes nos dois casos, o que evidenciou que a aplicação de água de reuso não alterou essas características no solo. Visto que o nitrogênio e potássio são macronutrientes essenciais para o desenvolvimento de plantas, há erroneamente a visão de que grande suprimento lhe traga benefícios.

Segundo estudos de Teixeira et al. (2007), o aumento contínuo de nitrogênio na forma de nitrato aumenta a acidez do meio, prejudicando o desenvolvimento da planta, visto que, a acidez é um fator limitante para o desenvolvimento de diversas culturas. Já em relação ao potássio, não há uma relação prejudicial direta, e sim indireta.

De acordo com Oliveira, Carmello & Mascarenhas (2001), o potássio promove além da absorção da água, a translocação de nutrientes na planta, e o seu excesso no solo diminui a disponibilidade de absorção de cátions bivalentes como Ca²⁺ e Mg²⁺, dominantes do complexo de troca e também essenciais para a produtividade das espécies.

Já para os valores de sódio foi constatado um acentuado aumento. Segundo Varallo et al. (2010), o aumento progressivo das concentrações de sódio é algo que deve

ser cuidadosamente monitorado, pois o excesso deste pode diminuir a permeabilidade do solo, reduzindo o processo de infiltração de água e sua absorção pela planta.

Segundo Brasil et al. (2005), os fatores que mais contribuem para o insucesso da remoção de Na^+ no solo são a grande solubilidade desse elemento químico, a baixa absorção pelas plantas e a baixa associação do cátion com o material orgânico. Coraucci Filho et al (1999) afirmam que, quando há aumento excessivo de sais solúveis no solo, o sódio muitas vezes se torna o elemento dominante na solução, devido a precipitação de compostos de cálcio e magnésio (principalmente) como sulfatos e carbonatos.

Assim, o sódio passa a substituir aqueles elementos, atingindo concentrações que caracterizam o solo como alcalino (ou sódico), justificando assim o aumento de seu teor com a utilização da água de reuso, visto que a mesma possui uma concentração maior de sais. Além disso, Silva (2014) retifica que o excesso de sais pode alterar a estrutura do solo, pois a adsorção de sódio pelo solo, proveniente de águas dotadas de elevados teores deste elemento, pode provocar a dispersão das frações de argila e conseqüentemente, diminuir a permeabilidade do solo.

A salinidade do solo afeta diretamente o desenvolvimento das plantas (AYERS & WESTCOT, 1999). Em referência a este aspecto, Cerqueira et al. (2008) citam a salinidade como fator mais limitante ao desenvolvimento e rendimento das culturas, salientando que o conjunto de efeitos negativos do sódio pode levar a uma redução na produção das culturas em grau variável.

É recomendado que estudos futuros desenvolvam o uso de efluente cervejeiro proveniente de outras etapas intermediárias do processo de tratamento, dando ênfase a um monitoramento mais criterioso, uma vez que os parâmetros característicos do fluido seriam bem mais elevados. Também devem ser consideradas outras formas de monitoramento da salinização do solo.

6. CONCLUSÕES

Por meio do projeto *Efluent Export*, e de acordo com os resultados observados e as discussões apresentadas, pode-se concluir que a prática de reuso de efluente cervejeiro tratado voltado para a irrigação de áreas cultiváveis se mostra bastante sustentável. Se bem planejada e gerenciada, a prática poderá trazer uma série de benefícios para o complexo solo-planta, além de expressiva economia para o setor agropecuário, um dos maiores responsáveis pelo consumo de grandes volumes de água a nível mundial.

É importante estabelecer critérios para a continuação dos estudos, observando mais profundamente os fatores externos que possam causar algum tipo de interferência, como, por exemplo, atividades antrópicas, clima, ou até mesmo o regime de chuvas. O estudo desse trabalho foi feito numa época de melhor visualização para os resultados (baixa pluviosidade), uma vez que, as chuvas provavelmente aumentariam a margem de erro dos resultados.

Em relação à Resolução CONAMA Nº 420/2009, o projeto atende às consoantes da legislação, tomando como base os valores-limite de impacto ao solo. A Cervejaria fornece uma boa infraestrutura e água de alto padrão para a irrigação dos lotes, uma vez que o efluente final tem um bom índice de remoção e excelência em tratamento, e, apesar do alto teor de metais convencional em águas residuárias da indústria cervejeira, mostrou não interferir na qualidade natural do solo.

Quanto às características químicas do solo, estudos futuros devem investigar métodos para reduzir o acúmulo de sódio, tópico este que, mesmo com 3 meses de irrigação, se mostrou com um aumento expressivo. Monitoramento e métodos de correção ou atenuação desse teor devem ser analisados para que não haja interferência na produtividade das culturas que forem implantadas no local.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. **Quase metade da água usada na agricultura é desperdiçada**. Brasília, DF. 2012. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/quase-metade-da-a-gua-usada-na-agricultura-a-c.2019-03-15.2354987174>>. Acesso em 08 de maio de 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA (CERVBRASIL). **A indústria de cerveja na América Latina é muito focada na redução do consumo de água e energia**. Disponível em: < http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/a-industria-de-cerveja-na-america-latina-e-muito-focada-na-reducao-do-consumo-de-agua-e-energia/>. Acesso em 09 de junho de 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216. **Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário - Procedimento**. Associação Brasileira De Normas Técnicas, 1987.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Irrigation and Drainage Paper. Rome: Food and Agriculture Organization, 1999, p. 29.
- BARROS, H. M. M.; VERIATO, M. K. L.; SOUZA, L. P.; CHICÓ, L. R.; BAROSI, K. X. L. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. **Reuso de água na agricultura**. v. 10, n. 5, p. 11-16, 2015.
- BERTOLAZI, K. B.; AFÁZ, D. C. S; VIANI, R. A. G; SOUZA, C. F. **Viabilidade da aplicação de composto de lodo de esgoto no cultivo inicial de eucalipto**. Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente. Vol. 4, No. 1, 2016, 72-78.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação DOU nº 053, de 18 de março de 2005, págs. 58-63
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 420**, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicação no DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Publicação no DOU nº 92, de 16/05/2011, págs. 1-2.
- BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A. **Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.133- 137, 2005.
- BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de Reúso de Água. In: PHILIPPI JÚNIOR, A. **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003. p. 21-36
- CERQUEIRA, L. L.; FADIGAS, F. de S.; PEREIRA, F. A.; GLOAGUEN, T. V.; COSTA, J. A. **Desenvolvimento de *Heliconia pittacorum* e *Gladia lushortulanus***

irrigados com águas residuárias tratadas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, p.606-613, 2008.

CLIMATE-DATA.ORG. **OpenStreetMap.** Disponível em: < <https://pt.climate-data.org>>. Acesso em 20 de março de 2019

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; NOUR, E. A.; ANDEROLI, F. N.; SOUZA, H. N.; MONTEGGIA, L. O.; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M. M.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R. **Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo.** In: CAMPOS, J. R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999

EMBRAPA - Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives.** Sinauer Associates, Sunderland, USA, 2005.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. **Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 458 - 466, 2010.

FINK, D. R. & SANTOS, H. F.; 2002. A Legislação de Reuso da Água. In: **Reuso de Água.** São Paulo: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais.** Rio de Janeiro, RJ, p.5-6, 2004.

GONÇALVES, I. Z., BARBOSA, E. A. A., SANTOS, L. N. S., NAZÁRIO, A. A., FEITOSA, D. R. C., TUTA, N. F., MATSURA, E. E. **Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip.** Agricultural Water Management, 185, 2017, 105–115.

GOOGLE. **Google Earth.** Consulta realizada em 14 de abril de 2019.

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos.** In: PHILIPPI JÚNIOR, A. Reuso de Água. Barueri: Manole, 2002. p. 37-95.

HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C. **Água na indústria: uso racional e reuso.** São Paulo: Oficina dos Textos, 2005.

ISHIWAKI, N.; MURAYAMA, H.; AWAYAMA, H.; KANAUVHI, O.; SATO, T. **Development of high value uses of spent grain by fractionation technology.** MBAA Technic, 2000, (37): 261 – 265.

KAUSHIK, A.; NISHA, R.; JAGJEETA, K.; KAUSHIK, C.P. **Impact of long and short term irrigation of a sodic soil with distillery effluent in combination with bioamendments.** Bioresour. Technol. 96, 2005, 1860–1866.

MORUZZI, R. B. **Reúso de Água no Contexto da Gestão de Recursos Hídricos: Impacto, Tecnologias e Desafios.** Ciência & Tecnologia. Rio Claro/SP. Ano VIII, vol. 8, n.3, p. 271-294, 2008.

- MUFFAREG, M. R. **Análise e discussão dos conceitos e legislação sobre reuso de águas residuárias**. Marcos Roberto Muffareg. Rio de Janeiro: s.n., 2003. 72p.
- NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuais industriais**. 3ª edição. Aracaju: Editora J Andrade, 1996.
- OLAJIRE, A. A. **The brewing industry and environmental challenges**. Current Opinion in Journal of Cleaner Production, 1 – 21, 2012.
- OLIVEIRA, E. L. (Org.). **Manual de Utilização de Águas Residuárias em Irrigação**. 1ª Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2012. 192 p.
- OLIVEIRA, E. L.; RIBEIRO, J. C. **Reuso de efluentes na agricultura**. Notas de Aula. Universidade Estadual Paulista, 2013
- OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. **Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação**. Scientia Agricola. 2001, vol.58, n.2, pp.329-335.
- PAGANINI, W. S. Reuso de água na agricultura. In: PHILIPPI JÚNIOR, A. **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003. p. 339-401.
- PESSIN, N. **Avaliação do Processo de Degradação dos Resíduos Sólidos Dispostos em Duas Células-Piloto de Aterramento**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville. Anais... Joinville: ABEAS, 2003.
- PORTAL DO GOVERNO FEDERAL. **Saiba mais sobre água, consumo consciente e recursos hídricos no Brasil**. 2010. Disponível em: < <http://legado.brasil.gov.br/noticias/educacao-e-ciencia/2010/10/agua-e-consumo-consciente>>. Acesso em 20 de março de 2019.
- POWER, S.D.; JONES, C.L.W. **Anaerobically digested brewery effluent as a medium for hydroponic crop production – The influence of algal ponds and pH**. Clean. Prod. 139, 2016, 167–174.
- QADIR, M.; STEFFENS, D.; YAN, F.; SCHUBERT, S. **Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation**. Land Degradation and Development, v.14, p.301-307, 2003.
- SANCHEZ, G. **Uso de esgoto tratado aumenta produtividade na agricultura**. G1 Natureza, 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/04/uso-de-esgoto-tratado-aumenta-produtividade-na-agricultura.html> >. Acesso em 13 de agosto de 2019.
- SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cervejas e Refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005. 58 p. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf>. Acesso em 14 de março de 2019.
- SENTHILRAJA, A.; JOTHIMANI, P.; RAJANNAN, G. **Effect of brewery wastewater on growth and physiological changes in maize, sunflower and sesame crops**. International Journal for Life Sciences and Educational Research. 1, 2013, 36–42.

SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. **Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26, 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABEAS, 2000.

SERENO FILHO, J. A.; SANTOS, A. F. M. S.; BAHÉ, J. M. C. F.; GOBBI, C. N.; LINS, G. A.; ALMEIDA, J. R. Revista Internacional de Ciências. **Tratamento de efluentes da indústria de bebidas em reator anaeróbio de circulação interna (IC)**, p. v. 3 n. 1, 21, 2013.

SETTI, M. C. B. C. **Reuso de Água: Condições de Contorno**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1995.

SHENDE, G. B. Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to Indian experience on research and development needs. In: PESCOD, M. B.; ARAR, A. (Ed.) **Proceedings of the FAO Seminar on the Treatment and Use of Sewage Effluents for Irrigation**. Nicosia, Cyprus, 7-9 October, Butterworths, London, 1985.

SILVA, A. O. **A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido**. Revista Nativa, v. 02, n. 03, p. 180-186. Sinop/MT, 2014

SILVA, E.F.F; DUARTE, S.N.; COELHO, R.D. Salinização dos solos cultivados sob ambiente protegidos no Estado de São Paulo. In: Folegatti, M.V. ed. **Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.267-277.

SIMATE, G. S.; CLUETT, J.; IYUKE S. E.; MUSAPATIKA, E. T.; NDLOVU, S.; WALUBITA, L. F.; ALVAREZ, A.E. **The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art**. Desalination, 2011, 273: 235–247.

TAYLOR, R. P.; JONES, C. L. W.; LAING, M.; DAMES, J. **The potential use of treated brewery effluent as a water and nutrient source in irrigated crop production**. Water Resources and Industry, 19, 2018, 47–60.

TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; BETTIOL Neto, J. E.; MARTINS, A. L. M. **Nitrogênio e potássio em bananeira via fertigação e adubação convencional - atributos químicos do solo**. Revista Brasileira de Fruticultura, v.29, p.143-152, 2007.

TELLES, D. A.; COSTA, R. P. **Reúso da Água: conceitos, teorias e práticas**. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 2010.

TYSON, R.V.; SIMMONE, E.H.; DAVIS, M.; LAMB, E.M.; WHITE, J.M.; TREADWELL, D.D. **Effect of nutrient solution, nitrate-nitrogen concentration, and pH on nitrification rate in perlite medium**, Journal of Plant Nutrition, v30, 2007, 901–913.

UNICEF; OMS. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities**. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization, 2019. Disponível em: <https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2019/06/JMP-2019-FINAL-high-res_compressed.pdf> Acesso em 01 de julho de 2019.

VARALLO, A. C. T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B. L.; SOUZA, C. F. **Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com Água de reuso**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14 (4): 372-377, 2010.

VENTURINI FILHO, W.G. **Tecnologia de Bebidas**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

Anexo A – Figura 12: Planta baixa do projeto *Efluent Export*

