

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Marcelo da Rosa Scandolara

**Avaliação do Potencial Econômico do Reúso de Efluentes Tratados na Cultura
do Arroz Irrigado no Sul do Estado de Santa Catarina**

Florianópolis

2023

Marcelo da Rosa Scandolara

**Avaliação do Potencial Econômico do Reúso de Efluentes Tratados na Cultura
do Arroz Irrigado no Sul do Estado de Santa Catarina**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Elisa Magri.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Scandolara, Marcelo da Rosa

Avaliação do potencial econômico do reúso de efluentes tratados na cultura do arroz irrigado no sul do Estado de Santa Catarina / Marcelo da Rosa Scandolara ; orientadora, Maria Elisa Magri, 2023.

69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Reúso de Efluentes. 3. Rizicultura. 4. Saneamento Básico. 5. Avaliação Econômica. I. Magri, Maria Elisa. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Marcelo da Rosa Scandolara

Avaliação do Potencial Econômico do Reúso de Efluentes Tratados na Cultura do Arroz Irrigado no Sul do Estado de Santa Catarina

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 07 de dezembro de 2023.



Prof. Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.
Coordenador do Curso

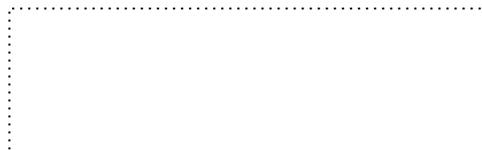
Banca examinadora



Prof.^a Maria Elisa Magri, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Leonardo Darli Cecato, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng.^a Giullia Birollo Alberton
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à todas as pessoas da minha família, meus tios, meus avós e meus primos por sempre estarem comigo e fazer parte da minha caminhada. Agradeço especialmente minhas irmãs Mariana e Gabriela por todo apoio que recebi durante toda minha vida e por terem sido grandes inspirações, pessoas das quais eu sempre vou me referenciar e sentir orgulho de ser da minha família. Agradeço de forma muito especial meus pais, que sempre acreditaram em mim e deram todo apoio que eu precisei nesses 6 anos e meio de graduação,

Agradeço a minha companheira Emilly, que sempre esteve presente compartilhando seu amor comigo. Agradeço por todo o companheirismo desses anos e, principalmente, todo o apoio que tive nos momentos mais difíceis da graduação.

Agradeço meus amigos de graduação Ferreira, Guilherme, Flávio, Antunes, Jean e Eduardo, que estiveram presentes desde o início do curso, assim como amigos que ingressaram na graduação no semestre 18.1. Agradeço ao Felipe e o Fabrício por formarmos o apartamento 708C. Morar neste apartamento só me trouxe lembranças boas.

Agradeço toda a UFSC, o departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e todos professores que puderam contribuir com a minha formação.

RESUMO

O aumento da população mundial nos últimos anos vem impondo diversos desafios, tal como a produção de alimentos, que deve crescer 70% até 2050. O atendimento do saneamento básico de forma adequada também é um desafio em decorrência do crescimento populacional. O reúso de efluentes tratados na irrigação agrícola é uma prática que contribui para o desenvolvimento sustentável e preserva os recursos hídricos disponíveis. O arroz é um dos alimentos mais importantes para a população brasileira, e o cultivo do arroz irrigado é uma das práticas mais importantes para a economia do estado de Santa Catarina, que por sua vez possui uma demanda hídrica elevada. O presente estudo avaliou o potencial econômico do reúso de efluentes tratados na cultura do arroz irrigado nos municípios do sul do estado de Santa Catarina. A demanda hídrica do cultivo do arroz irrigado foi determinada a partir do volume necessário de água na fase de saturação do solo, e posteriormente, foi incluída a demanda de manutenção da lâmina d'água do arroz. Dentre os municípios da área de estudo, foram escolhidas 08 Estações de Tratamento de Esgoto para avaliar o potencial reúso do efluente tratado nas áreas de cultivo mais próximas das estações. Para estimar o potencial reúso do efluente e avaliar os custos envolvidos na implantação e operação do sistema, foram propostas duas concepções diferentes. A primeira é composta por estação elevatória e linha de recalque da ETE até a área de cultivo mais próxima, onde o sistema será operado durante a fase de saturação do solo, aproximadamente 20 dias. A segunda concepção complementa a primeira, com a construção estação elevatória, linha de recalque e reservatórios. Desta forma a concepção 02 consegue operar durante todo ciclo do arroz, aproximadamente 150 dias. Os sistemas de reúso que as estações de tratamento de esgoto estavam próximas a áreas de cultivo de arroz apresentaram menores custos e maior viabilidade de implantação. A concepção 02 possui custos mais elevados por ser um sistema mais complexo e com maior tempo de operação. Contudo, a concepção 02 apresenta uma maior viabilidade financeira ao levar em consideração o volume de água irrigado, tornando o custo por volume menor que a concepção 01. O estudo foi capaz de identificar potenciais áreas para implementação do sistema de reúso de efluentes na rizicultura, além de estimar os principais custos envolvidos. Estes resultados se mostram importantes para dar suporte na criação de políticas públicas e fomentação de projetos envolvendo reúso de efluentes, visto que é uma prática pouco difundida no Brasil.

Palavras-chave: Saneamento; Reúso de efluentes; Rizicultura; Santa Catarina.

ABSTRACT

The increase in the world's population in recent years has posed several challenges, such as food production, which is expected to grow 70% by 2050. Proper basic sanitation is also a challenge due to population growth. The reuse of treated effluents in agricultural irrigation is a practice that contributes to sustainable development and preserves available water resources. Rice is one of the most important foods for the Brazilian population, and irrigated rice cultivation is one of the most important practices for the economy of the state of Santa Catarina, which in turn has a high water demand. The present study evaluated the economic potential of reusing treated effluents in irrigated rice cultivation in municipalities in the south of the state of Santa Catarina. The water demand for irrigated rice cultivation was determined based on the required volume of water in the soil saturation phase, and subsequently, the demand for maintaining the rice water depth was included. Among the municipalities in the study area, 08 Sewage Treatment Stations were chosen to evaluate the potential reuse of treated effluent in the cultivation areas closest to the stations. To estimate the potential reuse of the effluent and evaluate the costs involved in implementing and operating the system, two design concepts were proposed. The first consists of a lifting station and a pressure line from the ETE to the nearest cultivation area, where the system will be operated during the soil saturation phase, approximately 20 days. The second design complements the first, with the construction of a pumping station, booster line and reservoirs. In this way, design 02 can operate throughout the entire rice cycle, approximately 150 days. The reuse systems that sewage treatment plants were close to rice cultivation areas had lower costs and greater feasibility of implementation. Design 02 has higher costs as it is a more complex system and takes longer to operate. However, design 02 presents greater financial viability when taking into account the volume of water irrigated, making the cost per volume lower than design 01. The study was able to identify potential areas for implementing the effluent reuse system in rice farming, in addition to estimating the main costs involved. These results are important to support the creation of public policies and promotion of projects involving effluent reuse, as it is a practice that is not very widespread in Brazil.

Keywords: Basic Sanitation, Reuse wastewater, Rice farming, Santa Catarina.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa de localização da área de interesse.....	25
FIGURA 2 - Fluxograma da Concepção 01	28
FIGURA 3 - Fluxograma da Concepção 02	29
FIGURA 4 - Mapa de localização das ETEs da área de estudo	36
FIGURA 5 - Área irrigada ETE Criciúma Concepção 01	37
FIGURA 6 - Área irrigada ETE Próspera Concepção 01	38
FIGURA 7 - Área irrigada ETE Sombrio Concepção 01	39
FIGURA 8 - Área irrigada ETE Praia Grande Concepção 01	40
FIGURA 9 - Área irrigada ETE Turvo Concepção 01	41
FIGURA 10 - Área irrigada ETE Araranguá I e II Concepção 01	42
FIGURA 11 - Área irrigada ETE Forquilha Concepção 01	43
FIGURA 12 - Área irrigada ETE Criciúma Concepção 02	49
FIGURA 13 - Área irrigada ETE Próspera Concepção 02	50
FIGURA 14 - Área irrigada ETE Sombrio Concepção 02	51
FIGURA 15 - Área irrigada ETE Praia Grande Concepção 02	52
FIGURA 16 - Área irrigada ETE Turvo Concepção 02	53
FIGURA 17 - Área irrigada ETE Araranguá I e II Concepção 02	54
FIGURA 18 - Área irrigada ETE Forquilha Concepção 02	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usos Setoriais da Água, em Santa Catarina - Retirada Média Anual	15
Tabela 2 – Ranking dos países com maior volume de reúso de águas residuárias ..	19
Tabela 3 – Ranking dos países com maior volume de reúso per capta de águas residuárias.....	19
Tabela 4 – Produção de arroz no território brasileiro em toneladas no ano de 2017 – Resultados definitivos do IBGE, 2017	22
Tabela 5 - Municípios da área de estudo e sua respectiva produção anual de arroz em tonelada, safra 2022/2023. (continua).....	24
Tabela 6 - População municipal de acordo com o censo 2022.....	26
Tabela 7 - ETEs identificadas na área de estudo	35

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Custos unitários das EEE.....	31
QUADRO 2 - Custos unitários dos reservatórios	32
QUADRO 3 - Custo unitário da linha de recalque	32
QUADRO 4 - Abrangência da área de reúso – Concepção 01.....	37
QUADRO 5 - Quantitativo de EEE e LR – Concepção 01.....	43
QUADRO 6 - Quantitativo da potência das EEEs – Concepção 01	44
QUADRO 7 - Custos de Implantação – Concepção 01	45
QUADRO 8 - Custos de operação em um mês de operação – Concepção 01	46
QUADRO 9 - Custos de operação em Valor Presente – Concepção 01	47
QUADRO 10 - Abrangência da área de reúso na fase de saturação do solo – Concepção 02	48
QUADRO 11 - Abrangência da área de reúso na fase de irrigação contínua – Concepção 02	49
QUADRO 12 - Quantitativo EEE, LR e Reservatórios – Concepção 02.....	55
QUADRO 13 - Quantitativo da potência das EEEs – Concepção 02	56
QUADRO 14 - Custos de Implantação - Concepção 02.....	57
QUADRO 15 - Custos de operação em um mês de operação – Concepção 02	58
QUADRO 16 - Custos de operação em Valor Presente – Concepção 02	59
QUADRO 17 - Custo por vazão das ETE.....	60
QUADRO 18 - Custo por área irrigada.....	61
QUADRO 19 - Custo por volume	61
QUADRO 20 - Custo per capita mensal.....	62

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.1.1	Objetivos específicos	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	USO D'ÁGUA E DEMANDA HÍDRICA	15
3.2	SANEAMENTO COMO RECURSO	16
3.3	REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	18
3.4	LEGISLAÇÃO	20
3.5	RIZICULTURA	21
3.6	INDICADORES ECONÔMICOS	22
3.6.1	Valor Presente Líquido (VPL)	23
4.	METODOLOGIA	24
4.1	ÁREA DE ESTUDO: SUL DO ESTADO DE SANTA CATARINA	24
4.2	DEMANDA HÍDRICA DO ARROZ	26
4.3	MAPEAMENTO DAS ETEs	26
4.4	CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE REÚSO DE EFLUENTES	27
4.4.1	Concepção 01	27
4.4.2	Concepção 02	29
4.5	LEVANTAMENTO DE CUSTOS	30
4.5.1	Capex	31
4.5.2	Opex	32
4.6	DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1	GERAÇÃO DE EFLUENTES E DEMANDA HÍDRICA NA RIZICULTURA	35
5.2	AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO REÚSO DE EFLUENTES – CONCEPÇÃO 1	36
5.2.1	Área Irrigada	36
5.2.2	Detalhamento Quantitativo das Estruturas	43
5.2.3	Capex – Concepção 01	44
5.2.4	Opex – Concepção 01	46

5.3	AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO REÚSO DE EFLUENTES – CONCEPÇÃO 2	48
5.3.1	Área Irrigada.....	48
5.3.2	Detalhamento Quantitativo das Estruturas	55
5.3.3	Capex – Concepção 02	56
5.3.4	Opex – Concepção 02	58
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCEPÇÕES PROPOSTAS.....	60
5.4.1	Custo por Vazão	60
5.4.2	Custo por Área Irrigada	61
5.4.3	Custo por Volume	61
5.4.4	Custo por Habitante.....	62
6.	CONCLUSÃO	63

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial apresenta desafios significativos para o desenvolvimento sustentável. Desta forma, é crucial encontrar maneiras de garantir o suprimento adequado de alimentos, saneamento básico e a garantia da preservação dos recursos naturais. Com a estimativa de que a população atingirá 9,6 bilhões de pessoas até 2050, a produção de alimentos deverá aumentar em até 70% (HECKENMÜLLER; NARITA; KLEPPER, 2014).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 50,6% do uso consuntivo de água foi destinada a irrigação no ano de 2022, com vazão média de 1.027 m³/s. Um desafio adicional decorrente do crescimento populacional é o aumento significativo do volume de águas residuais que requerem tratamento adequado.

O saneamento ecológico e o reúso de águas residuais são abordagens inovadoras que visam promover a gestão sustentável dos recursos hídricos. Ao invés de tratar as águas residuais como resíduo, o saneamento ecológico enfatiza a recuperação e o reaproveitamento desses recursos, podendo ser uma solução promissora na produção sustentável de alimentos (WERNER et al., 2009).

O reúso de efluentes de águas residuais apresenta inúmeras vantagens na aplicação agrícola. No entanto, é importante destacar que essa prática também pode trazer consigo a presença de patógenos que representam um risco para a saúde humana. Esses patógenos podem incluir vírus, bactérias e parasitas que resistem aos processos convencionais de tratamento de águas residuais (MOAZENI et al., 2017).

Apesar da necessidade de atualização dos instrumentos legais no Brasil para estabelecer padrões mínimos de qualidade que orientem a aplicação de subprodutos do saneamento, vale constatar que a legislação recente do país reconhece a importância desse processo. O novo marco legal do saneamento básico, estabelecido pela lei 14.026 de 2020, aborda o reúso de efluentes sanitários como parte importante da nova política nacional (BRASIL, 2020).

Tendo em vista a importância econômica do setor agrícola no Brasil e as diretrizes estabelecidas no marco legal do saneamento, o mapeamento da demanda hídrica da agricultura e a disponibilidade de efluentes sanitários tornam-se parte essencial em um estudo para avaliar o potencial econômico e sustentável dessa prática. Logo, a avaliação da utilização de águas residuárias tratadas na irrigação agrícola não só influencia a produção de alimentos e a preservação dos recursos

hídricos, mas também proporciona uma alternativa para o tratamento adequado dos efluentes domésticos.

A rizicultura desempenha um papel significativo na economia e sociedade brasileira. O cultivo de arroz não apenas contribui para a segurança alimentar, fornecendo um dos principais alimentos básicos do país, mas também desempenha um papel crucial na geração de empregos e na dinamização da economia local. Segundo IBGE (2023a), o Brasil teve uma produção de 10,235 milhões de toneladas de arroz e uma área plantada 1,511 milhão hectare durante a safra de 2023.

O estado de Santa Catarina possui grande destaque na produção de arroz no Brasil, ficando atrás apenas do Rio Grande do Sul. Somando-se, o estado possui ao todo 5.916 propriedades dentro de 83 municípios que praticam a rizicultura, que em sua maioria, estão localizados na parte litorânea catarinense (IBGE, 2023a). Tendo em vista a importância do cultivo do arroz irrigado e o seu impacto social e econômico, o reúso de efluentes na rizicultura emerge como uma prática sustentável e estratégica para mitigar os desafios relacionados à demanda hídrica.

O presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial de uso de águas residuárias tratadas na irrigação do plantio de arroz na região sul do Estado de Santa Catarina. Além disso, o estudo avalia o custo de implantação de um sistema de reúso de efluentes na rizicultura, considerando diferentes concepções, buscando entender qual proposta corresponde à realidade dos municípios estudados.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo visa avaliar o potencial econômico do reúso de efluentes tratados na cultura do arroz irrigado nos municípios do sul do estado de Santa Catarina.

2.1.1 Objetivos específicos

- Fazer um levantamento da geração de efluentes e da demanda por água de irrigação na rizicultura em 06 municípios do sul de Santa Catarina.
- Estimar o custo para implantação de um sistema de reúso de efluentes tratados na rizicultura com diferentes concepções de implantação e operação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 USO D'ÁGUA E DEMANDA HÍDRICA

O aumento constante da urbanização tem exercido um impacto significativo na demanda por recursos hídricos. À medida que as áreas urbanas se expandem, a necessidade de água aumenta para atender às demandas domésticas, industriais e agrícolas. Nos últimos 20 anos, a vazão retirada pelos usos consuntivos de água aumentou em 50%, e a projeção é de que, até 2040, a demanda seja 30% maior do que a atual. Em relação aos tipos de usos, a agricultura irrigada sempre apresentou as maiores porcentagens em relação aos demais. No ano de 2021, a irrigação representou mais de 50% da retirada total dos usos consuntivos setoriais de água (ANA, 2023).

Em Santa Catarina, os usos consuntivos se assemelham aos do restante do país, mas com suas próprias particularidades. Ao contrário do cenário nacional, o estado de Santa Catarina se destaca pelo expressivo consumo de água no setor termelétrico, principalmente devido à presença da usina termelétrica Jorge Lacerda, localizada no município de Capivari de Baixo. Embora sua importância seja proporcionalmente menor em relação ao Brasil como um todo, a demanda hídrica mais significativa em Santa Catarina está relacionada à irrigação. Conforme indicado na Tabela 1, a irrigação registra uma média de retirada de água superior a 30 m³/s, evidenciando uma considerável dependência desse setor em relação aos recursos hídricos do estado (ANA, 2023).

Tabela 1 - Usos Setoriais da Água, em Santa Catarina - Retirada Média Anual

Uso setorial	Vazão média de retirada (m ³ /s)	Porcentagem de uso (%)
Humano urbano	15,72	18,48%
Humano rural	1,02	1,20%
Industria	8,04	9,45%
Animal	5,61	6,60%
Irrigação	34,83	40,95%
Mineração	0,84	0,99%
Termeletricidade	19,00	22,34%
Total	85,06	100,00%

Fonte: Adaptado de ANA (2023).

Conforme supracitado, o Estado de Santa Catarina possui uma grande dependência de seus recursos hídricos e nem sempre é possível garantir qualidade e quantidade para todos seus usos. O balanço hídrico apresentado no informe da

Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil de 2022, mostra que as áreas mais comprometidas estão na parte leste do país, que coincide com a maior concentração populacional. Em conjunto, também é destacada a região sul do Brasil, devido a sua intensa atividade agrícola, principalmente a cultura do arroz irrigado (ANA, 2022).

Diante do contexto de incerteza relacionada à disponibilidade hídrica, a reutilização de águas residuais emerge como uma solução de caráter sustentável. Essa abordagem implica na recuperação do recurso tratado, visando sua aplicação em atividades de menor exigência, a fim de preservar a água potável para usos mais essenciais (SOUSA, 2023).

3.2 SANEAMENTO COMO RECURSO

O sistema convencional de saneamento é baseado na coleta e transporte de águas residuárias por meio de um sistema de rede coletora de esgoto, utilizando água potável como meio de transporte. Esse sistema mistura quantidades relativamente pequenas de substâncias potencialmente prejudiciais com grandes volumes de água. Além disso, tanto a construção quanto a operação e a manutenção das infraestruturas necessárias para o funcionamento do sistema convencional são caras e complexas. Muitas vezes, esses sistemas são subsidiados diretamente, tornando-se um modelo pouco sustentável financeiramente (LANGERGRABER; MUELLEGGER, 2005).

De acordo com Werner et al. (2009), o conceito de saneamento ecológico se fundamenta em uma perspectiva abrangente dos fluxos de materiais, integrando-os a um sistema de gestão de águas residuais ecologicamente e economicamente sustentável, adaptado às demandas dos usuários e às condições locais específicas. Esse conceito não favorece uma tecnologia de saneamento específica, mas representa uma nova abordagem filosófica na maneira como lidamos com substâncias que antes eram consideradas apenas como águas residuais e resíduos eliminados pelo sistema hídrico. A essência do saneamento ecológico está em introduzir o conceito de sustentabilidade e gestão integrada de recursos hídricos e naturais, alinhados aos ecossistemas, no âmbito do saneamento.

Durante um extenso período, as águas residuais têm sido consideradas um desafio complexo devido à presença de riscos sanitários iminentes e à carga de matéria orgânica, bem como substâncias eutrofizantes, notadamente nitrogênio e fósforo. Essas substâncias não só apresentam complicações significativas nos

ecossistemas aquáticos, como oceanos, lagos e corpos d'água, mas também carregam um potencial valioso para aplicação na agricultura, conforme destacado por Esrey et al. (2001). A referida pesquisa ressalta que as águas residuais, ao conterem macronutrientes cruciais, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), podem ser estrategicamente utilizadas como fonte de nutrientes para os cultivos agrícolas, contribuindo assim para a fertilidade do solo e para a sustentabilidade agrícola (Esrey et al., 2001). Essa perspectiva reforça a importância de considerar as águas residuais não apenas como um desafio ambiental, mas também como uma oportunidade para promover práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Diversos autores consideram o reúso de águas residuárias como uma importante fonte de recurso hídrico, desta forma, o uso dessas águas para irrigação não apenas reduz significativamente a pressão sobre os recursos de água doce, mas também minimiza a liberação de poluentes nos ecossistemas aquáticos, contribuindo assim para a prevenção da degradação dos ecossistemas de água doce causada pelo crescimento descontrolado de algas e pela eutrofização (AL-HAZMI et al., 2023).

Abordar o saneamento como um recurso é incorporar o reúso como uma peça essencial desse conjunto busca um propósito mais amplo do que simplesmente reduzir a poluição; tem como objetivo agregar valor às águas residuais. Este enfoque visa não apenas mitigar impactos ambientais, mas também explorar oportunidades para financiamento adicional na gestão dos recursos hídricos, bem como para aprimorar a sustentabilidade econômica do sistema. A gestão de águas residuais, integrada a diversos ciclos de recursos, encontra-se estrategicamente posicionada para desempenhar um papel central na economia circular.

O emprego de água devidamente tratada na agricultura contribui para melhorias na segurança alimentar e energética, mas também oferece uma solução para enfrentar as crescentes demandas por água. Essas práticas têm o potencial de gerar impactos positivos significativos na preservação dos corpos hídricos e na promoção da saúde humana e ambiental. A reutilização da água, conforme destacado pelo World Water Assessment Programme (WWAP, 2017), não apenas proporciona benefícios imediatos, mas também cria novas oportunidades de negócios, promovendo, assim, o avanço de uma economia sustentável e equitativa.

3.3 REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

A prática do reúso de água tem uma história que remonta à Grécia Antiga, onde esgotos eram utilizados na irrigação. Contudo, a crescente demanda por água nos tempos modernos destacou a importância do reúso planejado da água como uma questão crucial nos dias de hoje. Essa abordagem está integrada a uma estratégia abrangente de uso eficiente da água, que engloba a redução de perdas, a minimização de efluentes e o consumo consciente.

No contexto contemporâneo, os esgotos tratados desempenham um papel fundamental nesse planejamento, substituindo a água potável em diversos usos, com destaque para a agricultura. Essa substituição não apenas contribui para a preservação dos mananciais, mas também acrescenta uma dimensão econômica no planejamento e gestão dos recursos hídricos (SÃO PAULO, 2023). Além disso, o reúso de água representa uma medida estratégica para enfrentar os desafios associados ao aumento da demanda por água, promovendo assim uma gestão sustentável e eficiente dos recursos hídricos. Essa prática não só é uma resposta pragmática às crescentes pressões sobre os recursos hídricos, mas também se alinha aos princípios da economia circular, destacando sua relevância em contextos globais.

O reúso de esgoto pode ser classificado em três tipos de uso, reúso indireto não planejado, reúso indireto planejado e reúso direto planejado. O reúso indireto não planejado é caracterizado pelo despejo do efluente não tratado diretamente num corpo hídrico ou subterrâneo. O reúso indireto planejado ocorre quando há o despejo do efluente tratado, contendo controle dos potenciais riscos ambientais. Já o reúso direto planejado caracteriza-se pelo tratamento do esgoto sanitário e encaminhado diretamente para sua aplicação prevista, como ocorre, por exemplo, na irrigação agrícola utilizando água tratada (TELLES; COSTA; 2007).

Historicamente, o reúso de águas residuárias ocorre em sua maioria em aplicações agrícolas, com intuito de aproveitar a água residuária como recurso hídrico (ANGELANAKIS *et al.*, 2018). Hoje, no cenário mundial os países que possuem grandes sistemas de reúso de água residuárias são os mesmos que sofrem escassez hídrica (GUERRA-RODRÍGUEZ, 2020), tendo como destaque a China, México e Estados Unidos, com total de reúso de 14,8 hm³/d, 14,4 hm³/d e 7,6 hm³/d, respectivamente. No entanto, se analisarmos o volume per capita de águas residuárias

o cenário é totalmente diferente, com destaque aos países Catar, Kuwait e Israel, conforme pode ser visto nas Tabela 2 e Tabela 3 (JIMENEZ; ASANO, 2015).

Tabela 2 – *Ranking* dos países com maior volume de reúso de águas residuárias

Posição	País	Total reúso hm ³ /d
1	China	14.817.000
2	México	14.400.000
3	Estados Unidos	7.600.000
4	Egito	1.920.000
5	Arábia Saudita	1.847.000
6	Síria	1.014.000
7	Israel	1.014.000
8	Chile	840.000
9	Japão	821.000
10	Espanha	574.000

Fonte: Adaptado de Jimenez e Asano (2015).

Tabela 3 – *Ranking* dos países com maior volume de reúso per capita de águas residuárias

Posição	País	Reúso, m ³ /d por milhão de pessoa
1	Catar	170.323
2	Israel	166.230
3	Kuwait	163.330
4	México	136.235
5	Emirados Árabes	126.713
6	Chipre	88.952
7	Arábia Saudita	75.081
8	Bahrein	56.301
9	Síria	55.109
10	Chile	52.211

Fonte: Adaptado de Jimenez e Asano (2015).

Atualmente, a prática do reúso de água no Brasil é pouco difundida, tendo poucos casos de sucesso, onde o maior reúso existente está relacionado ao reúso indireto não planejado. No Brasil, o reúso de água é mais comum nas indústrias e usos urbanos, como lavagem de ruas e irrigação de jardins. Apesar disso, sistemas de reúso de esgoto tratado em grande escala ainda são limitados. Empresas industriais utilizam esgoto tratado para economizar em captação de água doce e reduzir despesas com descartes em corpos d'água, seguindo práticas ambientalmente sustentáveis. Já nos usos urbanos, as águas de reúso são usadas em descargas sanitárias, irrigação de jardins e limpeza de pisos. De forma estruturada, projetos de reúso para irrigação agrícola quase não existem, e os existentes são de escala piloto, tendo como principal objetivo a pesquisa (MOTA, 2022).

3.4 LEGISLAÇÃO

Em diversas nações, a prática do reúso de efluentes tratados para irrigação agrícola é pouco difundida devido à ausência de legislação e regulamentação. Com isto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) apresentou em uma série de 4 volumes com recomendações para a prática segura do reúso de esgoto, excretas e águas cinzas. Destaca-se o volume 1 Políticas e Aspectos Regulatórios, onde as recomendações mínimas de qualidade do esgoto tratado buscam assegurar que o parâmetro DALY (*disability-adjusted life years*) seja inferior à 10^{-6} por pessoa por ano. Este parâmetro calcula o tempo de vida perdido devido à prática de tal atividade de risco. A OMS recomenda que, para culturas de irrigação irrestrita, ou seja, que não há consumo diretamente cru do alimento, os níveis mínimos de qualidade do esgoto tratado seja de até 10^5 E. coli/100 mL em culturas que a planta se desenvolve longe do solo. Já para os cultivos plantas a nível do solo e raízes, recomenda-se um limite de 1000 E. coli/100 mL (WHO, 2006).

Com intuito de regulamentar a prática do reúso de esgoto tratado para irrigação agrícola, a União Europeia publicou em 2020 o Regulamento (UE) 2020/741 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo aos requisitos mínimos para reutilização da água. Regulamento tem como objetivo garantir que a água para reutilização seja segura para a rega agrícola, e desta forma assegurar um elevado nível de proteção do ambiente e da saúde humana e animal, promover a economia circular, apoiar a adaptação às alterações climáticas. O regulamento estabelece os requisitos mínimos de qualidade para o reúso agrícola de acordo com a cultura plantada. Para as culturas “consumidas cruas em que a parte comestível é produzida acima do nível do solo e não entra em contacto direto com água para reutilização, culturas alimentares transformadas e culturas não alimentares, incluindo culturas usadas para a alimentação de animais produtores de leite ou carne” a concentração da bactéria indicadora *E.coli* no esgoto não deve ultrapassar o valor de 1000 *E. coli*/100 mL (EU, 2020).

Atualmente, o Brasil carece de uma lei federal para regulamentar o reúso de água, seja de efluentes domésticos, industriais ou pluviais. A falta de base legal dificulta a difusão da prática do reúso por diversos motivos, um deles, a falta de segurança no uso do efluente tratado. Mesmo que a maioria dos patógenos sejam eliminados no tratamento convencional, é possível encontrar alguns microrganismos

que resistiram ao tratamento, por isso, é de suma importância realizar análises de riscos associados ao reúso de efluentes (MOAZENI et al., 2017).

Apesar de não haver nenhuma legislação no Brasil que trata especificamente de reúso de efluentes de esgotamento sanitário, a NBR 13969/97 estabelece as classes de água de reúso conforme o seu uso final e o contato com o usuário. Vale ressaltar que com a Lei nº 14.026/2020 que atualiza o marco legal do saneamento básico no Brasil, o reúso de efluentes é uma prática estimulada e com repetidas menções ao longo da Lei.

No entanto, é importante observar que o marco aborda o reúso de efluentes sanitários tratados de acordo com as normas ambientais e de saúde pública. No cenário brasileiro, notamos a falta de instrumentos legais atualizados e embasados em evidências científicas que regulamentem adequadamente o reúso, dificultando a prática do reúso (Darli-Cecato, 2023).

3.5 RIZICULTURA

O arroz pertence à categoria de plantas anuais da família *poáceas*, sendo classificado no grupo de organismos com fotossíntese do tipo C3 e adaptado a ambientes aquáticos. Essa capacidade de adaptação se deve à presença de tecido especializado chamado aerênquima, encontrado tanto no caule quanto nas raízes da planta, permitindo a transferência de oxigênio do ar para a região próxima às raízes, conhecida como rizosfera (SOSBAI, 2018). O ciclo de crescimento do arroz apresenta variações que abrangem desde menos de 100 até mais de 200 dias, e pode ser subdividido em três fases distintas: plântula, vegetativa e reprodutiva. A duração de cada uma dessas fases é influenciada pelo tipo de cultivar utilizado, pelas condições climáticas e pela qualidade do solo em termos de fertilidade (EBERHARDT, D.S.; SCHIOCCHET, M.A).

A demanda de água na cultura do arroz irrigado depende de vários fatores, incluindo as características do solo, o sistema de cultivo, o ciclo da planta, perdas no transporte de água e as condições climáticas. Em Santa Catarina, o sistema de plantio com sementes pré-germinadas é o mais difundido, onde o período de irrigação é maior em relação a outros sistemas, como o convencional, cultivo mínimo e plantio direto (STONE, 2005). No sistema pré-germinado, a fase inicial do ciclo do cultivo, é necessário realizar a saturação do solo e a formação de lama, é nesta etapa onde ocorre a maior demanda hídrica. A quantidade de água para saturar o solo depende

de algumas variáveis: o nível do lençol freático e textura e porosidade do solo, podendo assumir valores entre 1.000 a 2.000 m³/ha para esta etapa, representando 10% a 28,5% do total de água necessário por safra, que geralmente varia entre 7.000 e 10.000m³/ha. Nas fases seguintes, a demanda de água se concentra na evapotranspiração, percolação no solo e possíveis perdas laterais pelas taipas. Ao longo do ciclo, mantém-se uma lâmina d'água de 5 a 10 cm, que para sua manutenção recomenda-se uma vazão de aproximadamente 1 Ls⁻¹ha⁻¹ (DO VALE et al., 2022).

A produção de arroz no Brasil não ocorre de forma homogênea, e conforme a Tabela 4, os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina destacam-se como os maiores produtores do cereal. Segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2023a), o estado de Santa Catarina possui 5.916 propriedades com cultivo de arroz distribuídas em 83 municípios, em que na safra de 2023 obteve uma produção de 1.215.419 de toneladas em 143.044 de hectares de área plantada (IBGE, 2023b).

Tabela 4 – Produção de arroz no território brasileiro em toneladas no ano de 2017 – Resultados definitivos do IBGE, 2017

Estado	Tonelada de arroz no ano de 2017
Rio Grande do Sul	8.408.352
Santa Catarina	921.634
Tocantins	513.581
Mato Grosso	430.727
Maranhão	135.538
Pará	102.422
Paraná	92.672
Goiás	90.539
Rondônia	83.953
Mato Grosso do Sul	74.014

Fonte: IBGE, 2023a

3.6 INDICADORES ECONÔMICOS

A fim de realizar uma análise econômica precisa de qualquer investimento, é essencial empregar uma variedade de métodos que permitam a identificação, quantificação e avaliação dos custos e benefícios associados às diversas alternativas de um projeto. Isso desempenha um papel crucial em garantir a viabilidade da implementação desses projetos (GOLDMAN, 2015). Para este projeto foi empregado o indicador Valor Presente Líquido. Desta forma, cabe dizer que o Valor Presente Líquido (VPL) é uma ferramenta de análise de investimento amplamente empregada

para avaliar a viabilidade de empreendimentos ou aquisições de ativos, sejam eles tangíveis ou intangíveis (MEDINA et al., 2015).

3.6.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma abordagem que leva em consideração todos os fluxos de custos e receitas ao longo do tempo, trazendo-os de volta ao seu valor presente inicial mediante a aplicação de uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Quando o VPL é positivo, isso indica que a proposta é atrativa e viável. Por outro lado, se o VPL for negativo, a proposta deve ser rejeitada, pois não atende aos critérios financeiros necessários (SILVA et al., 2014). O VPL é um valor absoluto na unidade considerada e o cálculo do ocorre através da equação 1.

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (1)$$

Onde:

i = taxa de desconto;

j = período genérico ($j = 0$ a $j = n$);

FC_j = fluxo genérico para $t = (0 \dots n)$, podendo ter valores positivos ou negativos;

$VPL(i)$ = valor presente líquido descontado a uma dada taxa i ;

n = número de períodos.

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo levou em consideração os critérios quantitativos em relação a demanda hídrica do cultivo da cultura do arroz irrigado, bem como a produção de esgoto tratado. Com objetivo de elencar as áreas com maior viabilidade econômica, foram considerados diferentes cenários para implantação de sistemas de reúso de água residuária.

A avaliação econômica apresentada neste estudo não levou em consideração as receitas e benefícios gerados a partir da prática do reúso de efluentes na rizicultura. A metodologia aborda os custos e despesas para implantação e operação do sistema de reúso, visando a gestão sustentável dos recursos hídricos.

4.1 ÁREA DE ESTUDO: SUL DO ESTADO DE SANTA CATARINA

O estado de Santa Catarina é um dos protagonistas na produção de arroz no âmbito nacional, sendo o segundo maior produtor do grão no Brasil (IBGE, 2023a). No cenário estadual, conforme o estudo de Mapeamento do Arroz Irrigado em Santa Catarina por imagens de satélite: Safra 2018/2019, o sul catarinense apresenta a maior produção de arroz irrigado, onde as regiões de Araranguá e Criciúma representam 54% da produção de todo estado com mais de 80 mil hectares de área plantada, evidenciando tal importância econômica, cultural e ambiental da região (EPAGRI, 2021). Desta forma, a área de estudo foi limitada aos municípios da região de Araranguá e Criciúma, como pode ser visto pela FIGURA 1 e listados pela Tabela 5.

Tabela 5 - Municípios da área de estudo e sua respectiva produção anual de arroz em tonelada, safra 2022/2023. (continua)

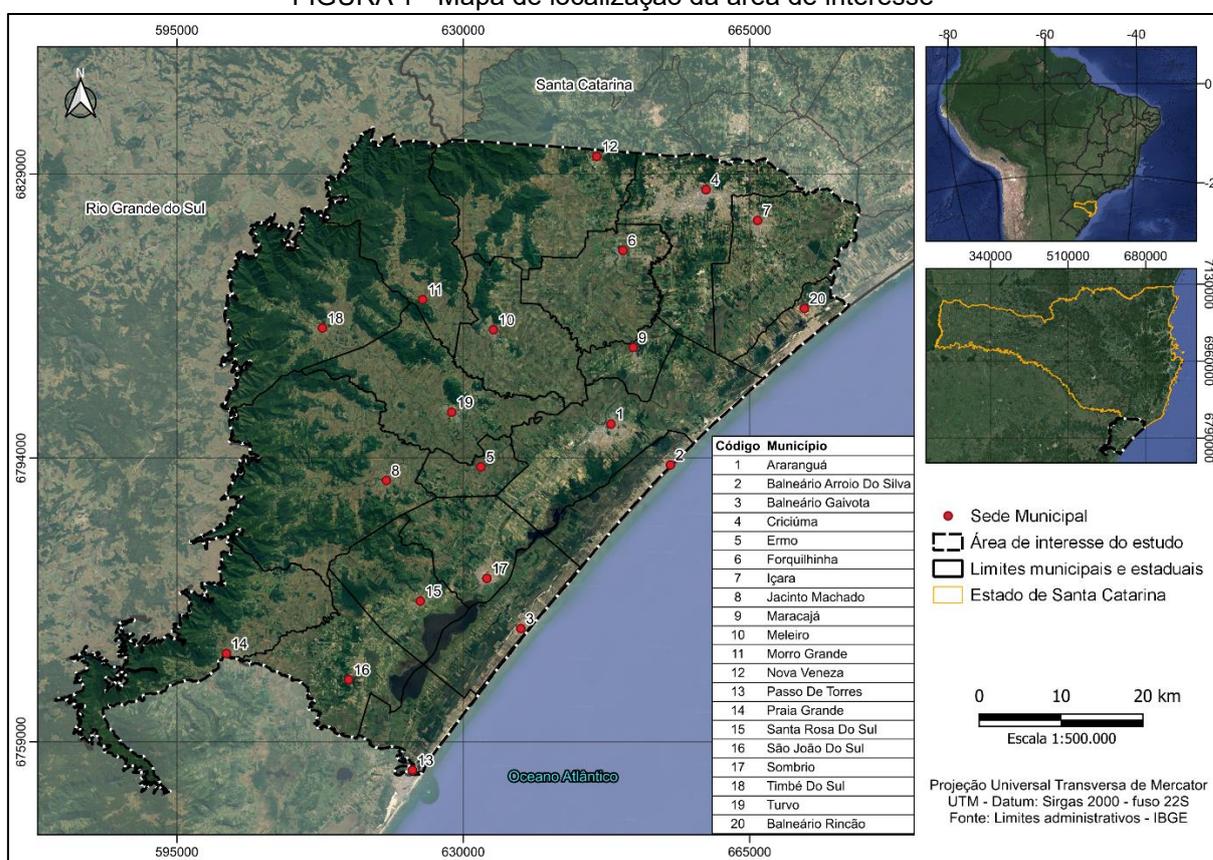
Município	Produção anual de arroz (tonelada)
Turvo	113.171
Forquilha	100.791
Meleiro	96.645
Nova Veneza	82.451
Jacinto Machado	67.509
Araranguá	44.486
Praia Grande	40.597
São João do Sul	33.845
Ermo	31.096
Morro Grande	29.417
Timbé do Sul	20.826
Maracajá	17.462
Sombrio	14.145
Içara	11.952

Tabela 5 - Municípios da área de estudo e sua respectiva produção anual de arroz em tonelada, safra 2022/2023. (conclusão)

Município	Produção anual de arroz (tonelada)
Santa Rosa do Sul	7.389
Passo de Torres	4.982
Criciúma	3.693
Balneário Gaivota	-
Balneário Arroio do Silva	-
Balneário Rincão	-

Fonte: Monitoramento de Safras e Mercados Agrícolas (EPAGRI, 2023)

FIGURA 1 - Mapa de localização da área de interesse



Fonte: Elaborado pelo autor.

A concepção de um estudo ou projeto de saneamento passa pela etapa de identificação e mapeamento da população de interesse. Os municípios abrangentes deste estudo têm como característica a baixa densidade populacional e grandes áreas agricultáveis, exceto por Criciúma, Içara e Araranguá, que possuem centros urbanos com características diferentes dos demais. De acordo com o censo demográfico realizado em 2022, a maior parte dos municípios da área de interesse possuem população inferior a 15 mil habitantes, como pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 - População municipal de acordo com o censo 2022.

Município	População Censo 2022
Criciúma	214.493
Araranguá	71.922
Içara	59.035
Forquilha	31.431
Sombrio	29.991
Balneário Rincão	15.981
Balneário Arroio do Silva	15.820
Balneário Gaivota	15.669
Nova Veneza	13.664
Turvo	13.043
Passo de Torres	12.897
Jacinto Machado	10.624
Santa Rosa do Sul	9.792
São João do Sul	8.668
Praia Grande	8.270
Maracajá	7.815
Meleiro	7.006
Timbé do Sul	5.386
Morro Grande	3.010
Ermo	2.269

Fonte: Adaptado de IBGE (2022).

4.2 DEMANDA HÍDRICA DO ARROZ

A demanda hídrica na rizicultura foi dividida em duas etapas neste estudo. A primeira etapa trata-se da fase de saturação do solo e formação de lama, que ocorre nos primeiros meses do ciclo do cultivo. A fase de saturação do solo possui uma demanda hídrica com valores entre 1.000 a 2.000 m³/ha, e deve ser iniciada entre 25 a 30 dias antes da fase de semeadura (DO VALE et al., 2022). Neste estudo, foi considerado uma demanda de 2.000 m³/ha em um intervalo de 20 dias, propondo um cenário mais conservador.

A segunda etapa da demanda hídrica do arroz acontece após a fase de saturação do solo e permanece até o fim do ciclo do arroz. Nesta etapa consideramos uma vazão constante para manutenção da lâmina d'água de 1 L.s⁻¹.ha⁻¹.

4.3 MAPEAMENTO DAS ETES

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) levantadas para este estudo são aquelas que estão inseridas dentro dos municípios da área de interesse. Inicialmente, buscou-se informações referente as ETES através da base de dados do Atlas Esgoto,

que por sua vez, foram encontradas 05 estações de tratamento dentre os 20 municípios estudados. No entanto, a base de dados do Atlas Esgoto não corresponde a realidade do esgotamento sanitário da área de estudo. Com isto, foi realizado um levantamento de informações dentro dos sites das companhias de saneamento e das prefeituras para identificar o maior número de ETEs existentes.

4.4 CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE REÚSO DE EFLUENTES

A implantação de um sistema de reúso de esgoto tratado na agricultura não é uma prática difundida no Brasil. Conforme mencionado anteriormente, a rizicultura praticada em Santa Catarina, em sua maioria, adota o sistema pré-germinado, onde há uma demanda de água significativa na fase inicial para saturar o solo e realizar a formação de lama. Após essa fase, a demanda hídrica está relacionada a manutenção do nível da água devido as perdas por evapotranspiração, percolação e fluxo lateral (STONE, 2005).

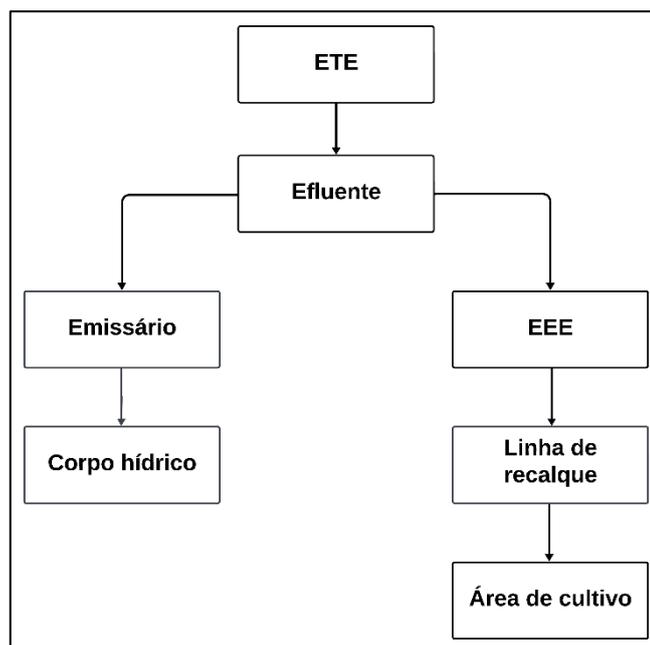
Como a irrigação do arroz não ocorre de forma contínua ao longo de todo o ciclo, foram elaboradas duas concepções diferentes para implantar o sistema de reúso de efluente tratado. De maneira geral, as concepções propõem a construção de estações elevatórias de esgoto (EEE), seguido de linhas de recalque até a área de cultivo.

Outras modalidades de sistema de reúso, como o uso de caminhões limpa fossa, não foram avaliadas neste estudo. O uso de caminhões como transporte de efluentes até a área de cultivo se mostrou pouco promissor devido a baixa capacidade de armazenamento dos veículos e a elevada demanda hídrica da rizicultura.

4.4.1 Concepção 01

A primeira concepção trata-se de um sistema mais simplificado com irrigação pontual. Neste sistema, é proposto a construção de uma EEE paralela ao emissário de cada ETE levantada, seguido de uma linha de recalque até uma única área de cultivo. Nesta concepção, o reúso do efluente ocorrerá somente uma vez por ano na fase de saturação do solo, onde ocorre a maior demanda hídrica. Para este estudo, foi considerado o funcionamento ininterrupto das EEE durante os 20 dias da fase de saturação do solo, totalizando 480 horas de operação do sistema. A FIGURA 2 apresenta de forma esquemática o sistema proposto.

FIGURA 2 - Fluxograma da Concepção 01



Fonte: Elaborado pelo autor

O cálculo da área potencial de reúso foi feito a partir do volume necessário para alagar um hectare de arroz num período de 20 dias. Conforme mostra a equação 2, foi estimada uma vazão unitária da demanda hídrica, para que posteriormente pudesse se encontrar a área de reúso.

$$Q_{unitário} = \frac{Vd}{Ta} = \frac{2000m^3/ha}{480 h} = 1,16 L^1s^{-1}ha^{-1} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{unitário}$ = Vazão unitária por área (L/s/ha)

Vd = Volume da demanda hídrica (m³/ha)

Ta = Tempo de alagamento (h)

Em sequência, o valor da área é obtido através da razão entre a vazão da ETE e a vazão unitária calculada, bem como mostra a equação 3.

$$A = \frac{Q_{ETE}}{Q_{unitário}} = \text{Área total de reúso (ha)} \quad (3)$$

Onde:

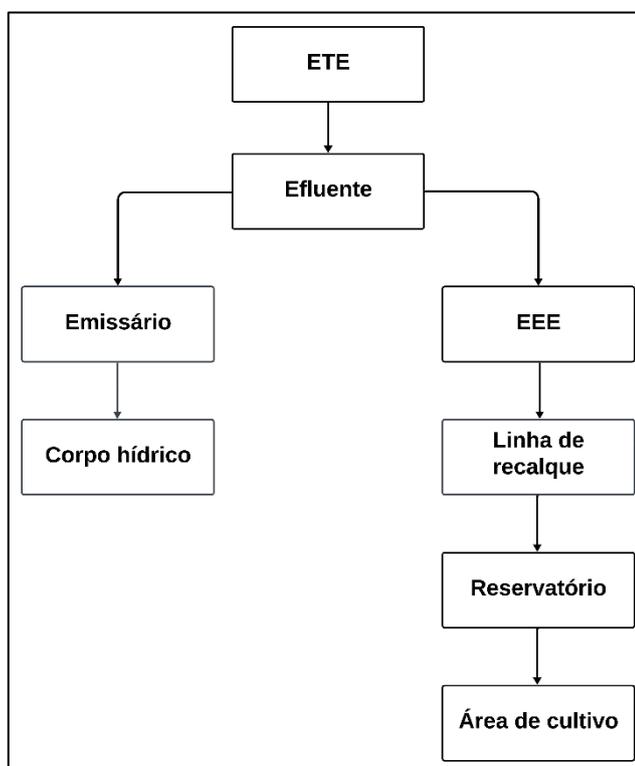
A = Área total com capacidade de receber reúso (ha)

Q_{ETE} = vazão da ETE (L/s)

4.4.2 Concepção 02

Para a Concepção 02 se propõe um sistema de reúso com irrigação contínua. Propõe-se a construção de uma EEE próxima ao emissário de cada ETE existente, e desta estação elevatória de esgoto, o efluente segue via linha de recalque até um reservatório de concreto, formato circular, possuindo uma altura útil de 5 metros e diâmetro interno de 8 metros, que serão capazes de armazenar 1.000 m³, que será implantado ao lado da área de cultivo mais próxima da ETE. Nesta concepção o reúso do efluente acontecerá durante todo o ciclo do arroz, e não somente na fase de saturação do solo. Para que seja possível o reúso ao longo de todo o ciclo, se propõe a construção de reservatórios para acumular o efluente em períodos de não irrigação. A FIGURA 3 apresenta de forma esquemática o sistema proposto.

FIGURA 3 - Fluxograma da Concepção 02



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com Eberhardt e Schiocchet (2015), as perdas de água através da evapotranspiração e percolação no solo ocorrem ao longo de toda a safra. Com isto, recomenda-se que o produtor mantenha uma lâmina d'água de 5 a 10 cm, e que o aumento da lâmina ocorra num período de 24 a 48 horas. Estimar a demanda hídrica de manutenção da lâmina d'água não é simples, pois a irrigação e a drenagem das quadras envolvem diversas variáveis. Entretanto, conforme é apresentado por Stone (2003), o cultivo do arroz possui uma demanda média de 1 L/s/ha para a manutenção da lâmina d'água.

Mesmo que tenha se adotado um valor constante para vazão de demanda, a irrigação do arroz não ocorre de forma regular. Para que se tenha um maior aproveitamento das estruturas implantadas, a construção de um reservatório se faz essencial para operação. Nos períodos em que não há demanda de água, o efluente tratado fica armazenado nos reservatórios até que seja necessário realizar o aumento da lâmina d'água. Durante a irrigação, as áreas contempladas pelo reúso serão aquelas que a vazão de cada ETE produz, mais o volume reservado, desta forma podendo atingir mais áreas. Contudo, é possível que o intervalo entre irrigações seja maior que a capacidade de reservação do sistema, deixando os reservatórios em sua capacidade máxima. Por isso, considerou-se que o excedente seja direcionado para um curso d'água ou para um canal de drenagem que seja afluente de um curso d'água.

Para estimar o valor total da área beneficiada, foi considerado um cenário em que o reservatório está em sua capacidade máxima de reservação e a vazão da ETE contribui diretamente para a irrigação. Inicialmente, calculamos a área de reúso pela contribuição direta da ETE, semelhante como ocorre na fase de saturação do solo. Para encontrar a área de reúso, basta dividir o valor da vazão da ETE pela vazão de demanda (1 L/s/ha). Para calcular a área de contribuição do reservatório, será definida uma vazão de saída. A vazão de saída do reservatório leva em consideração que aumento do nível da lâmina d'água deve ocorrer entre 24 e 48 horas. Assim, para que o reservatório seja esvaziado ao longo de 48 horas, a vazão de saída dele deve ser de aproximadamente 5,8 L/s. Desta forma, para definir o valor máximo de reúso, basta dividir a soma das vazões da ETE e do reservatório pela vazão de demanda adotada.

4.5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

A implantação do sistema de reúso de efluente proposto neste estudo é composto de obras de saneamento pontuais e lineares. Em ambas as concepções, foi

considerada a implantação de Estações Elevatórias de Esgoto e Linhas de Recalque. A construção de reservatórios foi proposta somente na Concepção 02. Neste estudo, não foram avaliados os benefícios econômicos e sociais relacionados ao reúso do efluentes na rizicultura, logo a composição do fluxo de caixa previsto no cálculo do VPL corresponde apenas aos investimentos realizados. Assim, o VPL foi utilizado como ferramenta de comparação entre as alternativas apresentadas, e o valor apresentado não determina a viabilidade econômica da implantação do sistema.

Os custos totais levam em consideração a soma dos valores de implantação e operação dos sistemas de reúso. Desta forma, o valor total é composto pelos custos das obras pontuais e lineares mais os custos de operação do sistema para um horizonte de projeto de 10 anos.

4.5.1 Capex

O levantamento dos custos unitários das unidades que compõem o sistema de reúso foram obtidos através da planilha da relação de serviços e preços produzida pela Associação e Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON). A data de coleta é de janeiro de 2023, e nela estão os preços unitários das EEE, linhas de recalque e reservatório. Foi adotado os valores tabela de custos unitários de ABCON com objetivo de abordar valores usados no mercado.

Conforme mostra o QUADRO 1, as estações elevatórias de esgoto possuem um preço unitário de acordo com o intervalo de vazão projetada. Para cada EEE proposta, foi adotada a vazão nominal da ETE. Já o custo unitário dos reservatórios é apresentado de acordo com intervalo de capacidade de reservação de água, conforme é apresentado no QUADRO 2. Apesar dos custos apresentados trazerem boas estimativas para este estudo, os valores apresentados tratam-se de obras para reservatórios de um sistema de abastecimento de água, e não para fins de reúso.

QUADRO 1 - Custos unitários das EEE

Item	Intervalo da vazão (L/s)	Custo unitário (R\$/L/s)
Estação Elevatória de Esgoto	6,0 - 10,0	R\$ 83.142,81
Estação Elevatória de Esgoto	11,0 - 25,0	R\$ 69.852,85
Estação Elevatória de Esgoto	26,0 - 50,0	R\$ 54.980,79
Estação Elevatória de Esgoto	51,0 - 100,0	R\$ 43.944,89
Estação Elevatória de Esgoto	101,0 - 200,0	R\$ 35.138,00

Fonte: ABCON (2023).

QUADRO 2 - Custos unitários dos reservatórios

Item	Intervalo de volume (m³)	Custo unitário (R\$/m³)
Reservatório	Até 100	R\$ 4.383,23
Reservatório	101 - 250	R\$ 3.790,44
Reservatório	251 - 500	R\$ 3.341,60
Reservatório	501 - 1000	R\$ 2.948,66
Reservatório	1001 - 2000	R\$ 2.482,59

Fonte: ABCON (2023).

Em relação a implantação de linhas de recalque, foi considerada a execução sob via sem pavimentação com vala de 1,21 a 1,50 m, pois a execução ocorrerá em meio rural, salvo pequenos trechos urbanos em alguns casos. O material escolhido foi o ferro fundido, devido ao amplo uso nas obras de saneamento e por suportar cargas mais elevadas, tendo em vista que haverá tráfego de máquinas agrícolas. Conforme apresenta o QUADRO 3, o custo unitário foi definido pelo metro de execução, variando o valor de acordo com o diâmetro nominal escolhido.

QUADRO 3 - Custo unitário da linha de recalque

Item	Material	Custo unitário (R\$/m)
Linha de Recalque executada sob via sem pavimentação, em vala de 1,21m a 1,50m de profundidade	TUBO FºFº - DN 200mm	R\$ 1.214,16
	TUBO FºFº - DN 250mm	R\$ 1.505,86
	TUBO FºFº - DN 300mm	R\$ 1.685,89
	TUBO FºFº - DN 400mm	R\$ 2.248,84
	TUBO FºFº - DN 500mm	R\$ 2.985,39
	TUBO FºFº - DN 600mm	R\$ 3.902,32

Fonte: ABCON (2023).

4.5.2 Opex

Os custos de operação foram calculados somente para as EEE. Para este estudo foi considerado apenas o custo de energia elétrica, pois ele representa a parte mais significativa. Para o custo unitário da energia elétrica foi adotado o valor da tarifa convencional aplicada pela Celesc no mês de novembro de 2023. Conforme apresentado no site oficial da Celesc (2023), a tarifa convencional é de R\$ 0,59 por kWh. O custo operacional foi calculado para o um horizonte de projeto de 10 anos de uso do sistema. O cálculo do VPL foi aplicado para os custos anuais de operação, com objetivo de comparar os valores entre as concepções avaliadas.

4.6 DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

As estações elevatórias de esgoto tiveram seu porte definido de acordo com a vazão da ETE que antecede ela, assim, a vazão de uma EEE possui o mesmo valor da vazão da estação de tratamento de esgoto.

As linhas de recalque foram traçadas através do software QGIS®, onde também, foram extraídas as respectivas extensões. Para dimensionar os diâmetros econômicos das linhas de recalque foi utilizada a fórmula Bresse, conforme pode ser visto abaixo.

$$D = K\sqrt{Q} \quad (4)$$

Onde:

D = diâmetro da tubulação (m).

K = coeficiente de Bresse, neste estudo foi adotado o valor 1.

Q = vazão (m³/s)

Para estimar o desvio geométrico entre a cota da EEE até a área de cultivo, foi analisado o perfil de elevação da linha de recalque através do *software* Google Earth®.

A perda de carga unitária foi calculada segundo a fórmula de *Hazen-Williams*, conforme mostra a equação 5. A altura manométrica necessária da bomba é obtida pela soma da perda carga e o desvio geométrico.

$$H = \frac{10,65 \cdot L \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad (5)$$

Onde:

H = perda de carga (m)

L = extensão da linha de recalque (m)

Q = vazão (m³/s)

C = coeficiente de *Hazen-Williams*, neste estudo adotado 130

D = diâmetro da tubulação (m)

A potência necessária da bomba está relacionada à altura manométrica e a vazão da bomba. O valor da potência pode ser obtido pela equação 6

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Hm}{75 \cdot n} \quad (6)$$

Onde:

P = potência (cv)

γ = peso específico (1000 kgf/m³)

Hm = altura manométrica (m)

n = rendimento, neste estudo adotado 75%

Q = vazão (m³/s)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 GERAÇÃO DE EFLUENTES E DEMANDA HÍDRICA NA RIZICULTURA

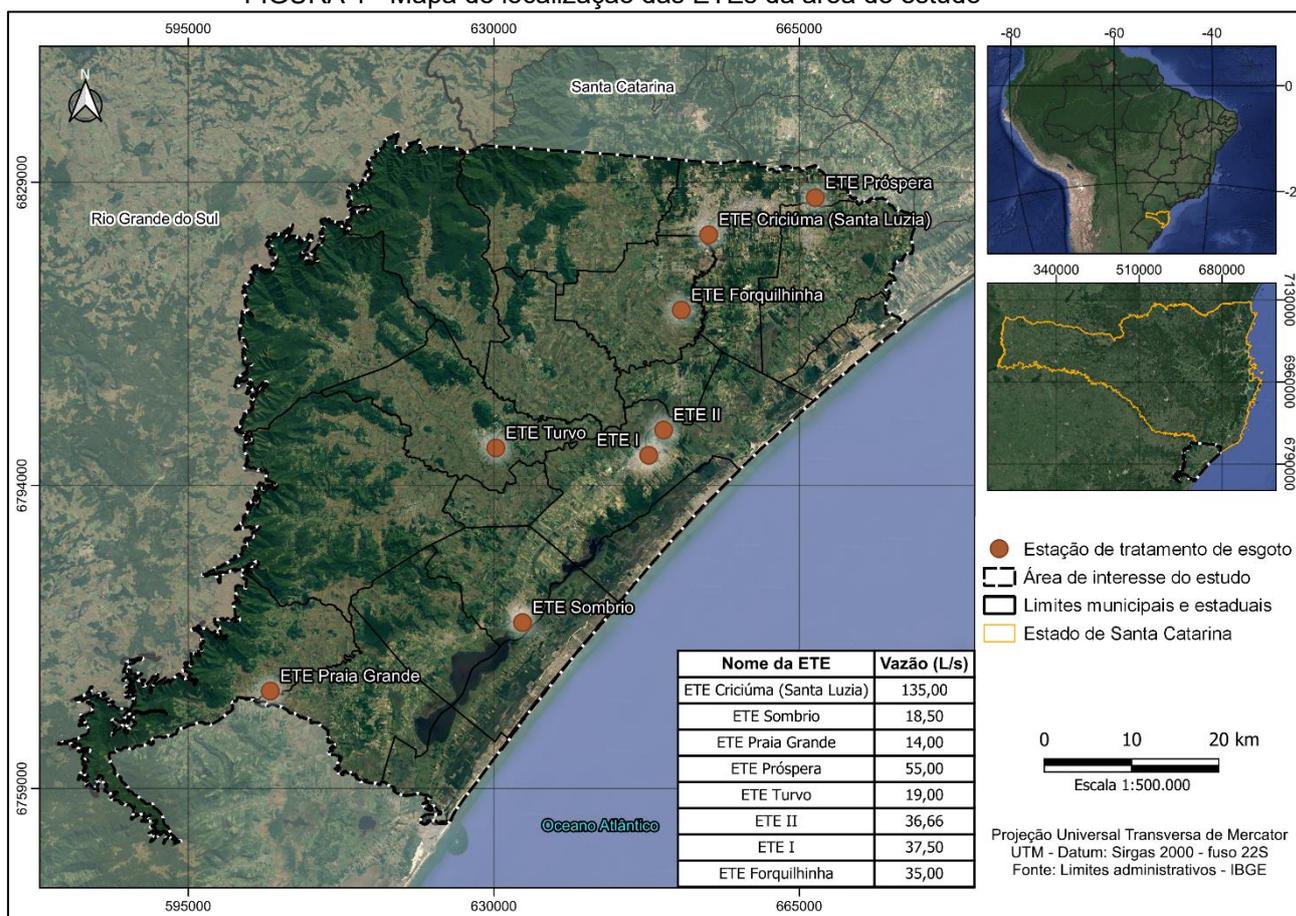
A geração de efluentes foi determinada pela vazão de operação das ETEs inseridas na área de estudo, considerando que todo o volume de esgoto tratado será encaminhado para o sistema de reúso. Dos 20 municípios que integram a área de estudo, foram identificadas 08 ETEs distribuídas em 06 municípios diferentes. Assim, através da Tabela 7, é possível ver as ETEs, seu respectivo município e vazão nominal. Já a FIGURA 4, apresenta a localidade de cada ETE.

Tabela 7 - ETEs identificadas na área de estudo

Município	ETE	Vazão (L/s)
Criciúma	ETE Criciúma (Santa Luzia)	135
Criciúma	ETE Próspera	55
Sombrio	ETE Sombrio	18,5
Praia Grande	ETE Praia Grande	14
Turvo	ETE Turvo	19
Araranguá	ETE II	36,66
Araranguá	ETE I	37,5
Forquilha	ETE Forquilha	35

Fonte: Atlas Esgoto (ANA, 2019)

FIGURA 4 - Mapa de localização das ETEs da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO REÚSO DE EFLUENTES – CONCEPÇÃO 1

Conforme já apresentado anteriormente, a Concepção 01 propõe a implantação de sistema de reúso mais simplificado. O sistema será composto por uma EEE e uma linha de recalque a partir da ETE até a área de cultivo de arroz mais próxima.

5.2.1 Área Irrigada

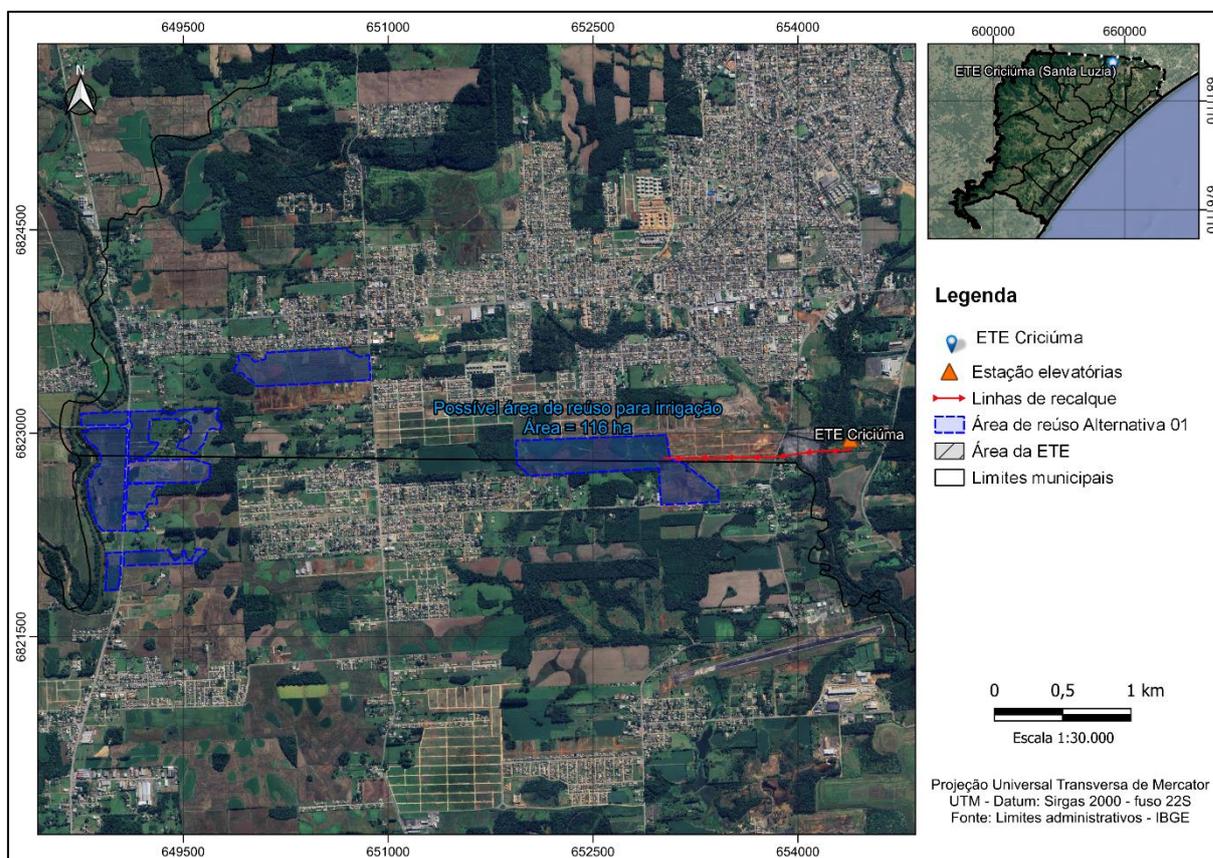
Como esta concepção prevê apenas a aplicação do sistema no período de saturação do solo, os resultados encontrados correspondem a aplicação neste período. Conforme apresenta o QUADRO 4, o município de Criciúma se destaca por possuir a maior capacidade de reúso da área de estudo, justamente por possuir uma população significativamente maior do que qualquer outro município da área. As figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam a concepção do sistema e uma possível área de irrigação com o reúso do efluente tratado.

QUADRO 4 - Abrangência da área de reúso – Conceção 01

ETE	Q ETE (l/s)	Área de reúso (ha)
ETE Criciúma	135	116,64
ETE Próspera (Criciúma)	55	47,52
ETE Sombrio	18,5	15,98
ETE Praia Grande	14	12,10
ETE Turvo	19	16,42
ETE II (Araranguá)	36,66	31,67
ETE I (Araranguá)	37,5	32,40
ETE Forquilha	35	30,24

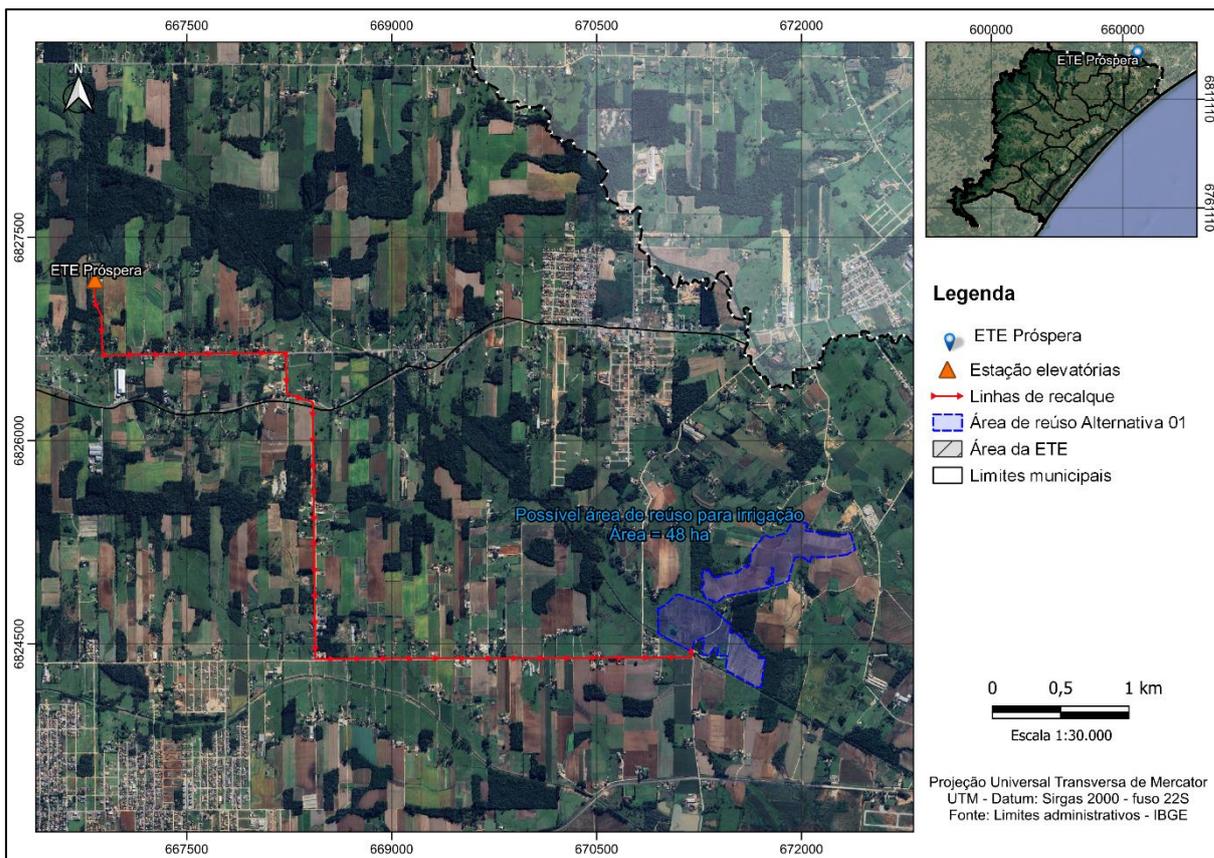
Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 5 - Área irrigada ETE Criciúma Conceção 01



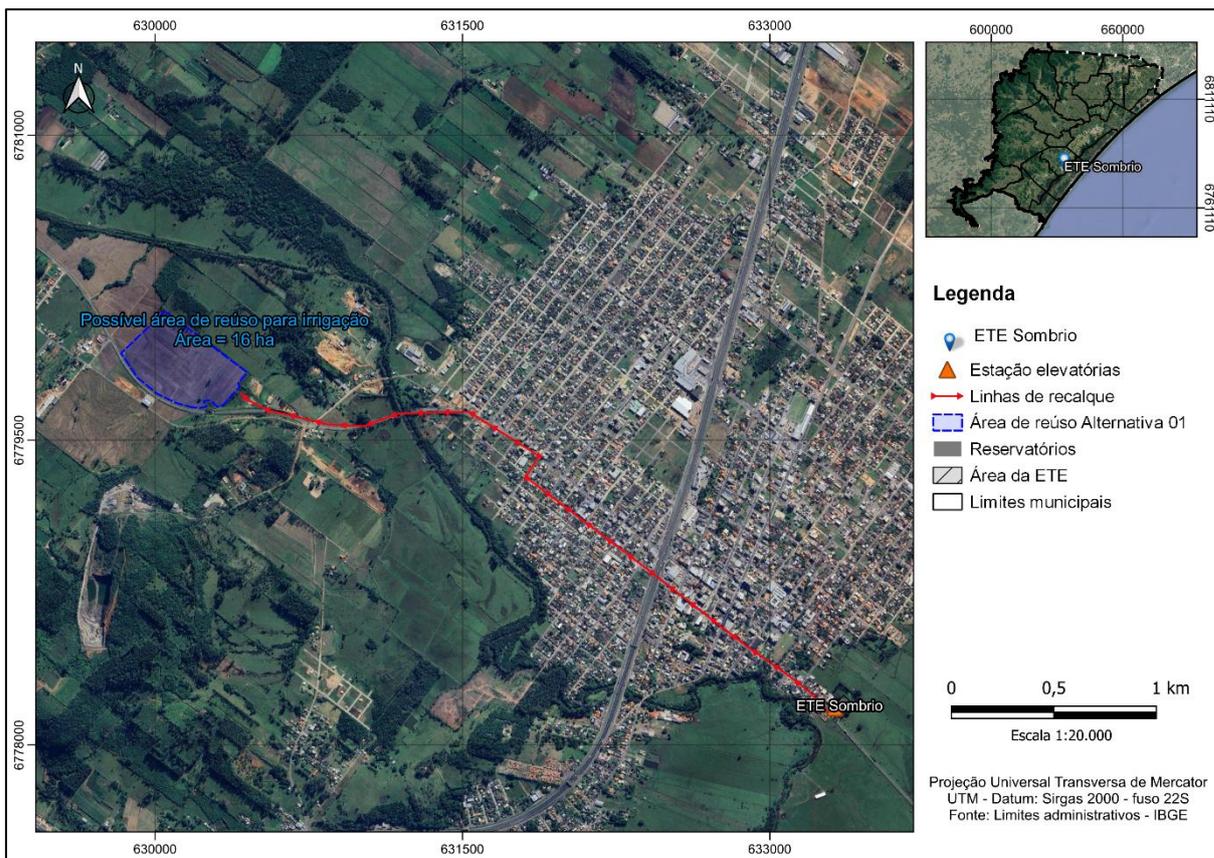
Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 6 - Área irrigada ETE Próspera Conceção 01



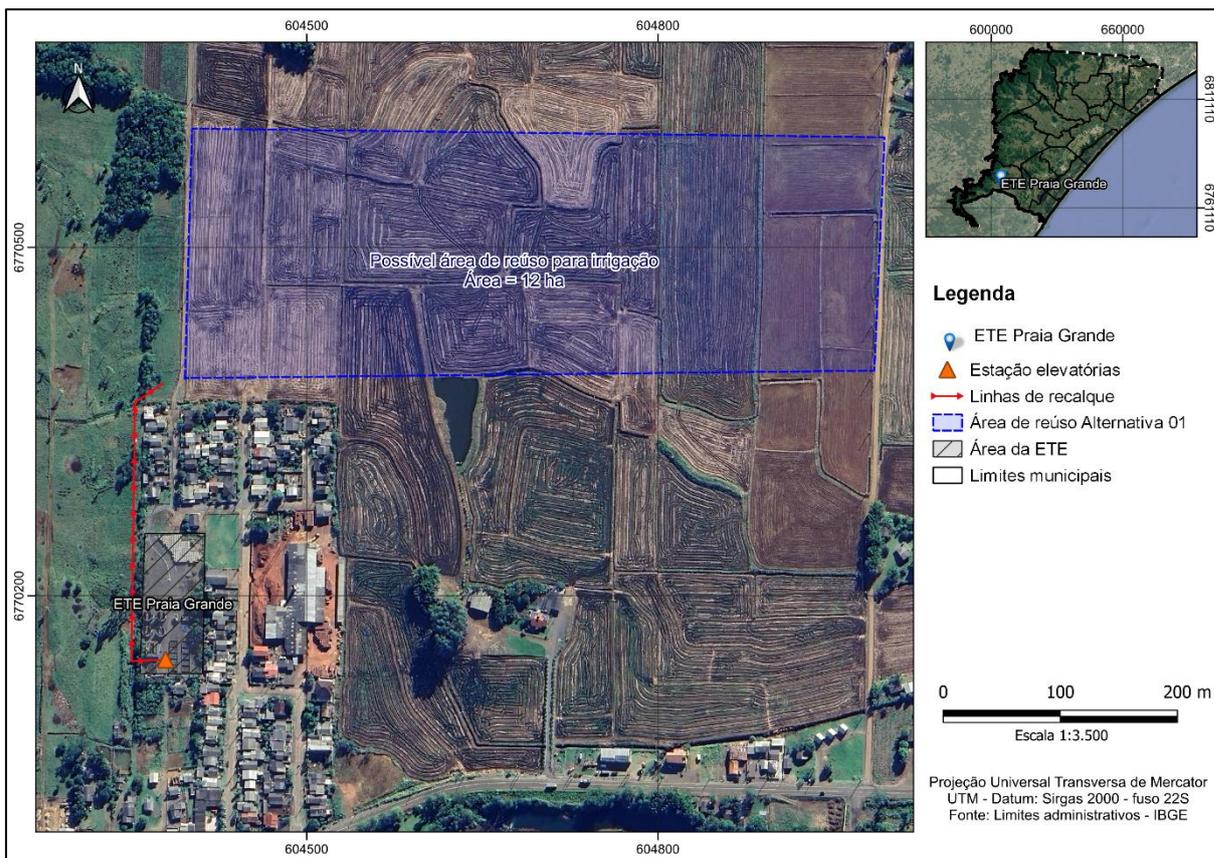
Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 7 - Área irrigada ETE Sombrio Conceção 01



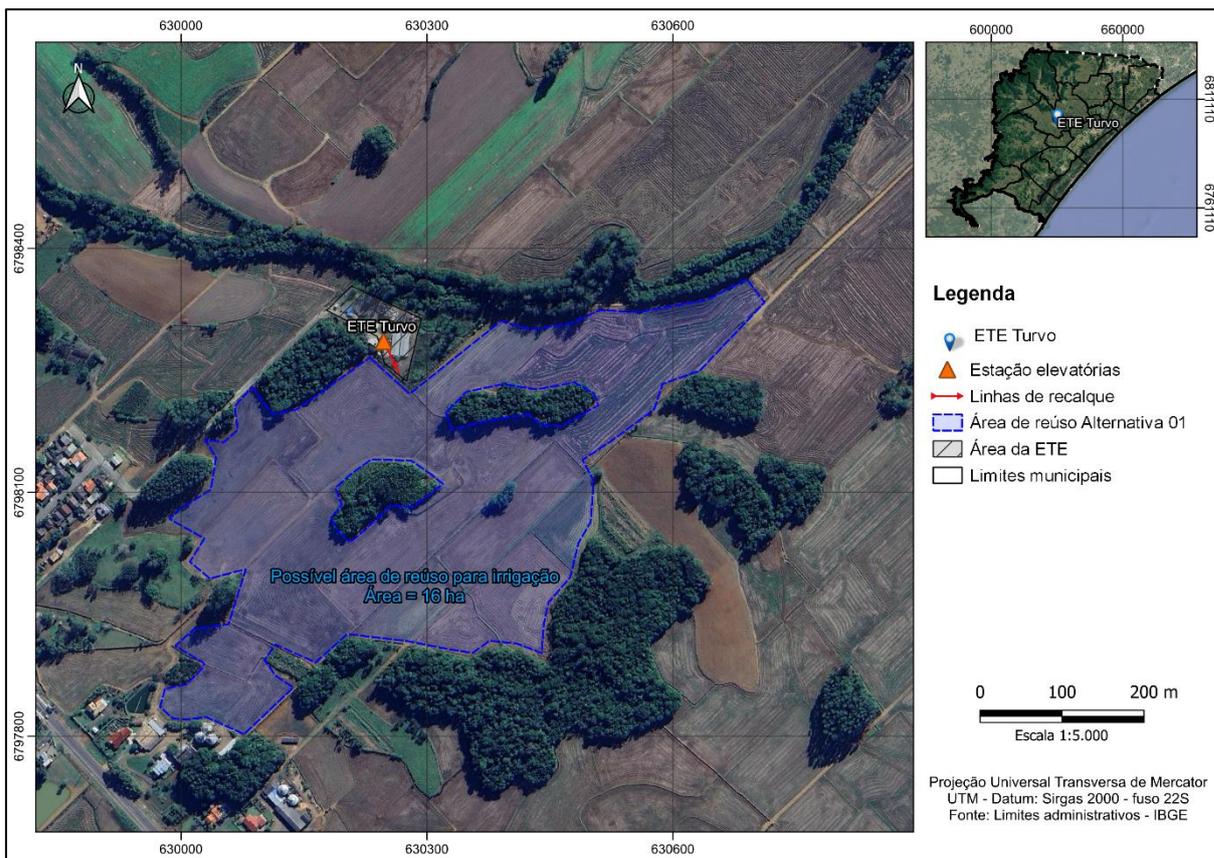
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 8 - Área irrigada ETE Praia Grande Conceção 01



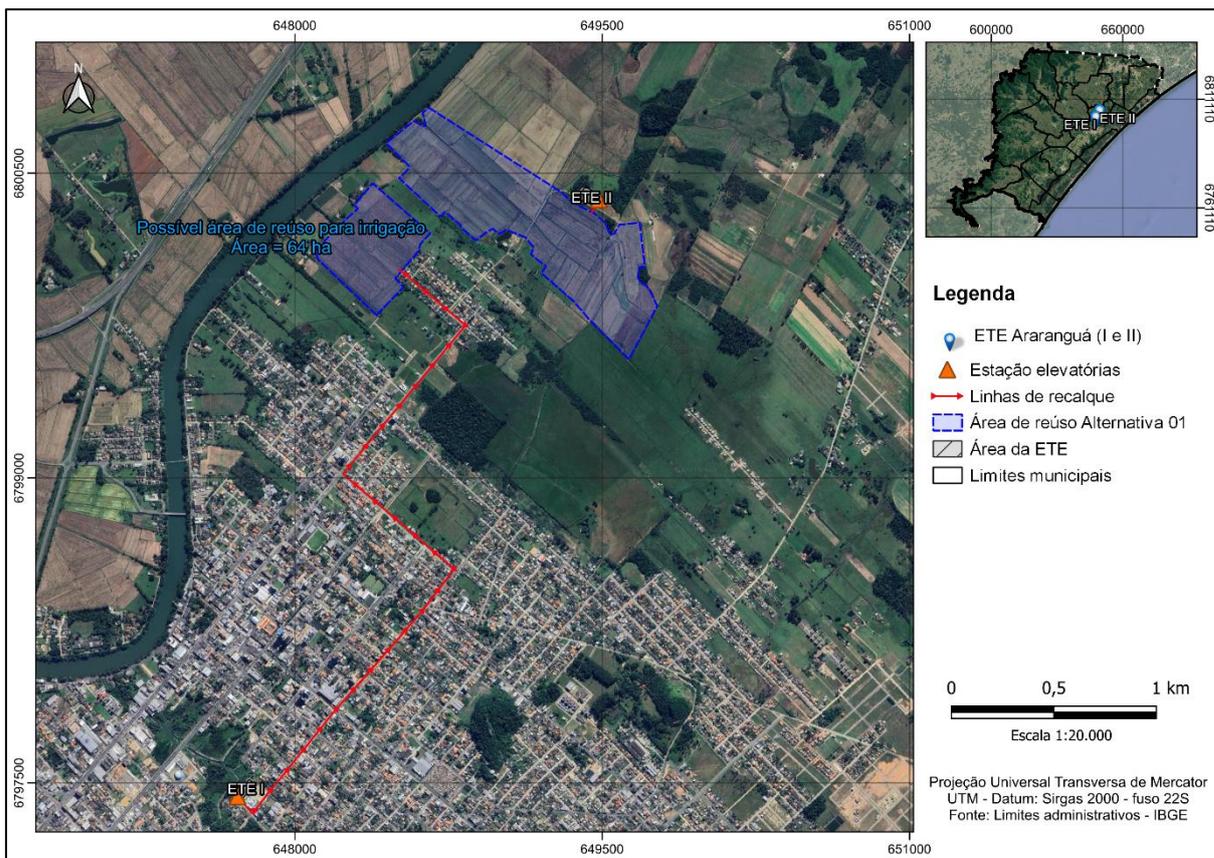
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 9 - Área irrigada ETE Turvo Conceção 01



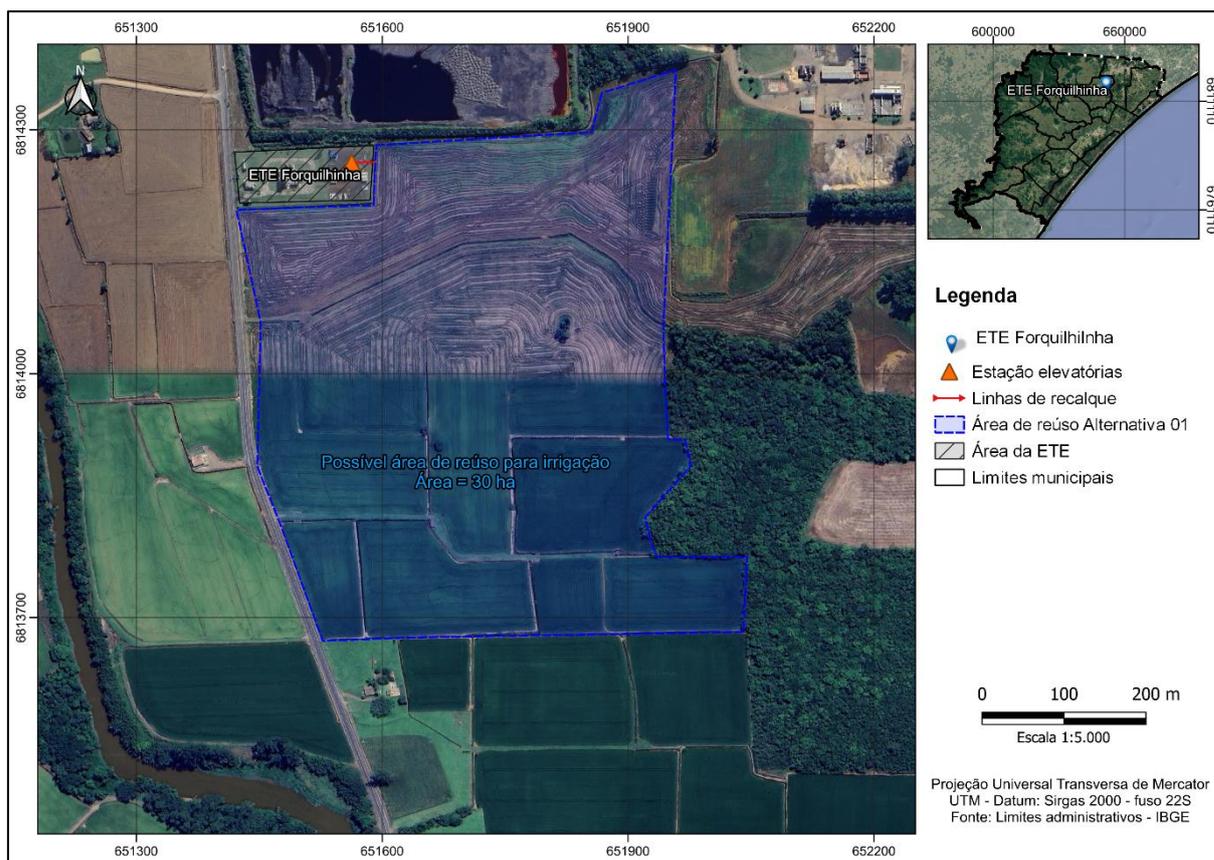
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 10 - Área irrigada ETE Araranguá I e II Concepção 01



Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 11 - Área irrigada ETE Forquilha Concepção 01



Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.2 Detalhamento Quantitativo das Estruturas

A composição do sistema de reuso é dado pela construção de uma EEE seguido de uma linha de recalque até a área de cultivo mais próxima. Conforme os valores quantitativos apresentados no QUADRO 5 e no QUADRO 6, nota-se que a extensão da linha de recalque prevista para as estações elevatórias EEE Próspera, EEE Sombrio e EEE I (Araranguá), possuem valores elevados em relação às demais. Isto ocorre devido a distância entre as ETEs e as áreas de cultivo mais próximas.

QUADRO 5 - Quantitativo de EEE e LR – Concepção 01

EEE	Extensão LR (m)	Vazão (l/s)	Diâmetro calculado (mm)	DN (mm)
EEE Criciúma	1.448	135	367	400
EEE Próspera (Criciúma)	7.124	55	235	250
EEE Sombrio	3.832	18,5	136	200
EEE Praia Grande	297	14	118	200
EEE Turvo	34	19	138	200
EEE II (Araranguá)	72	36,66	191	200
EEE I (Araranguá)	3.752	37,5	194	200
EEE Forquilha	49	35	187	200

Fonte: Elaborado pelo autor

QUADRO 6 - Quantitativo da potência das EEEs – Conceção 01

EEE	Desvio geométrico (m)	Perda de Carga (m)	Altura manométrica (m)	Potência comercial (cv)
EEE Criciúma	3	4,04	7,04	17,00
EEE Próspera (Criciúma)	30	37,21	67,21	66,00
EEE Sombrio	17	7,90	24,90	9,00
EEE Praia Grande	1	0,37	1,37	1,00
EEE Turvo	1	0,07	1,07	1,00
EEE II (Araranguá)	1	0,53	1,53	1,00
EEE I (Araranguá)	9	28,60	37,60	26,00
EEE Forquilha	1	0,33	1,33	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.3 Capex – Conceção 01

O custo de implantação do sistema de reuso levou em consideração a construção das estações elevatórias e a implantação das linhas de recalque. Conforme é apresentado no QUADRO 7, a vazão da ETE e a distância da LR foram os parâmetros que mais influenciaram nos custos. Grandes distâncias encarecem o projeto pela quantidade de material utilizada, maior mão de obra e maior complexidade de projeto.

QUADRO 7 - Custos de Implantação – Concepção 01

EEE	Vazão (l/s)	Custo unitário EEE (R\$/l/s)	Custo EEE (R\$)	Extensão LR (m)	Custo unitário LR (R\$/m)	Custo LR (R\$)	Total (R\$)
EEE Criciúma	135	R\$ 35.138,00	R\$ 4.743.630,00	1.448	R\$ 2.248,84	R\$ 3.256.320,32	R\$ 7.999.950,32
EEE Próspera (Criciúma)	55	R\$ 43.944,89	R\$ 2.416.968,95	7.124	R\$ 1.505,86	R\$ 10.727.746,64	R\$ 13.144.715,59
EEE Sombrio	18,5	R\$ 69.852,85	R\$ 1.292.277,73	3.832	R\$ 1.214,16	R\$ 4.652.661,12	R\$ 5.944.938,85
EEE Praia Grande	14	R\$ 69.852,85	R\$ 977.939,90	297	R\$ 1.214,16	R\$ 360.605,52	R\$ 1.338.545,42
EEE Turvo	19	R\$ 69.852,85	R\$ 1.327.204,15	34	R\$ 1.214,16	R\$ 41.281,44	R\$ 1.368.485,59
EEE II (Araranguá)	36,66	R\$ 54.980,79	R\$ 2.015.595,76	72	R\$ 1.214,16	R\$ 87.419,52	R\$ 2.103.015,28
EEE I (Araranguá)	37,5	R\$ 54.980,79	R\$ 2.061.779,63	3.752	R\$ 1.214,16	R\$ 4.555.528,32	R\$ 6.617.307,95
EEE Forquilha	35	R\$ 54.980,79	R\$ 1.924.327,65	49	R\$ 1.214,16	R\$ 59.493,84	R\$ 1.983.821,49
Total	350,66	-	R\$ 16.759.723,76	16.608	-	R\$ 23.741.056,72	R\$ 40.500.780,48

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.4 Opex – Concepção 01

Conforme mencionado anteriormente, os custos de operação das estações elevatórias de esgoto foram estimados com base no consumo de energia elétrica. Assim como no Capex, o custo de operação está relacionado a distância da ETE a área de cultivo. Longos percursos possuem maiores variações na topografia do terreno, além de proporcionar uma maior perda de carga do efluente percorrendo a linha de recalque, exigindo maiores potências associadas as bombas das EEE.

Os custos apresentados nesta concepção levam em consideração que a operação das EEE será de 24 horas por dia ao longo de um mês, que seria o tempo necessário para realizar a saturação do solo nas quadras de arroz. O QUADRO 8 apresenta os custos estimados de operação das EEE. Já o QUADRO 9 mostra os custos com VPL num período de operação de 10 anos, adotando uma taxa de 12,0% a.a.

QUADRO 8 - Custos de operação em um mês de operação – Concepção 01

EEE	Potência (cv)	KWh/mês	Unitário (R\$/KW)	Total (R\$)
EEE Criciúma	17	8.996	R\$ 0,59	R\$ 5.325,87
EEE Próspera (Criciúma)	66	34.927	R\$ 0,59	R\$ 20.676,90
EEE Sombrio	9	4.763	R\$ 0,59	R\$ 2.819,58
EEE Praia Grande	1	529	R\$ 0,59	R\$ 313,29
EEE Turvo	1	529	R\$ 0,59	R\$ 313,29
EEE II (Araranguá)	1	529	R\$ 0,59	R\$ 313,29
EEE I (Araranguá)	26	13.759	R\$ 0,59	R\$ 8.145,45
EEE Forquilha	1	529	R\$ 0,59	R\$ 313,29
Total	122	64.562	-	R\$ 38.220,94

Fonte: Elaborado pelo autor

QUADRO 9 - Custos de operação em Valor Presente – Conceção 01

Ano	EEE Criciúma	EEE Próspera (Criciúma)	EEE Sombrio	EEE Praia Grande	EEE Turvo	EEE II (Araranguá)	EEE I (Araranguá)	EEE Forquilha
1	R\$ 4.755,24	R\$ 18.461,52	R\$ 2.517,48	R\$ 279,72	R\$ 279,72	R\$ 279,72	R\$ 7.272,72	R\$ 279,72
2	R\$ 4.245,75	R\$ 16.483,50	R\$ 2.247,75	R\$ 249,75	R\$ 249,75	R\$ 249,75	R\$ 6.493,50	R\$ 249,75
3	R\$ 3.790,85	R\$ 14.717,41	R\$ 2.006,92	R\$ 222,99	R\$ 222,99	R\$ 222,99	R\$ 5.797,77	R\$ 222,99
4	R\$ 3.384,69	R\$ 13.140,55	R\$ 1.791,89	R\$ 199,10	R\$ 199,10	R\$ 199,10	R\$ 5.176,58	R\$ 199,10
5	R\$ 3.022,04	R\$ 11.732,63	R\$ 1.599,90	R\$ 177,77	R\$ 177,77	R\$ 177,77	R\$ 4.621,95	R\$ 177,77
6	R\$ 2.698,25	R\$ 10.475,56	R\$ 1.428,49	R\$ 158,72	R\$ 158,72	R\$ 158,72	R\$ 4.126,74	R\$ 158,72
7	R\$ 2.409,15	R\$ 9.353,18	R\$ 1.275,43	R\$ 141,71	R\$ 141,71	R\$ 141,71	R\$ 3.684,59	R\$ 141,71
8	R\$ 2.151,03	R\$ 8.351,05	R\$ 1.138,78	R\$ 126,53	R\$ 126,53	R\$ 126,53	R\$ 3.289,81	R\$ 126,53
9	R\$ 1.920,56	R\$ 7.456,30	R\$ 1.016,77	R\$ 112,97	R\$ 112,97	R\$ 112,97	R\$ 2.937,33	R\$ 112,97
10	R\$ 1.714,79	R\$ 6.657,41	R\$ 907,83	R\$ 100,87	R\$ 100,87	R\$ 100,87	R\$ 2.622,62	R\$ 100,87
Total	R\$ 30.092,35	R\$ 116.829,11	R\$ 15.931,24	R\$ 1.770,14	R\$ 1.770,14	R\$ 1.770,14	R\$ 46.023,59	R\$ 1.770,14

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO REÚSO DE EFLUENTES – CONCEPÇÃO 2

A Concepção 02 propõe a implantação de sistema de reúso contínuo, onde atuará ao longo de todo ciclo do cultivo de arroz irrigado. Para esta concepção, além das estações elevatórias de esgoto e linhas de recalque, é previsto a implantação de reservatórios de água para a reservação do efluente tratado.

5.3.1 Área Irrigada

Para esta concepção também se calculou a área possível de reúso na fase de saturação do solo. Mas, além da vazão da ETE, foi considerado a contribuição dos reservatórios cheios. Conforme mostra o QUADRO 10, os valores encontrados são muito próximos da Concepção 01, tendo um acréscimo de somente 0,5 hectare da área por reservatório implantado.

Já para a fase de irrigação contínua do arroz, o reservatório desempenha um papel importante na operação do sistema. Além de sua função de reservação do recurso hídrico, o reservatório auxilia no controle de vazão da irrigação. Conforme é apresentado no QUADRO 11, a área de potencial de reúso aumenta consideravelmente em relação a concepção 01. Já as figuras 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 apresentam a concepção do sistema e uma possível área de irrigação com o reúso do efluente tratado.

QUADRO 10 - Abrangência da área de reúso na fase de saturação do solo – Concepção 02

ETE	Q ETE (l/s)	Área de reúso (ha)
ETE Criciúma	135	117,14
ETE Próspera (Criciúma)	55	48,02
ETE Sombrio	18,5	16,48
ETE Praia Grande	14	12,60
ETE Turvo	19	16,92
ETE II (Araranguá)	36,66	32,17
ETE I (Araranguá)	37,5	32,90
ETE Forquilha	35	30,74

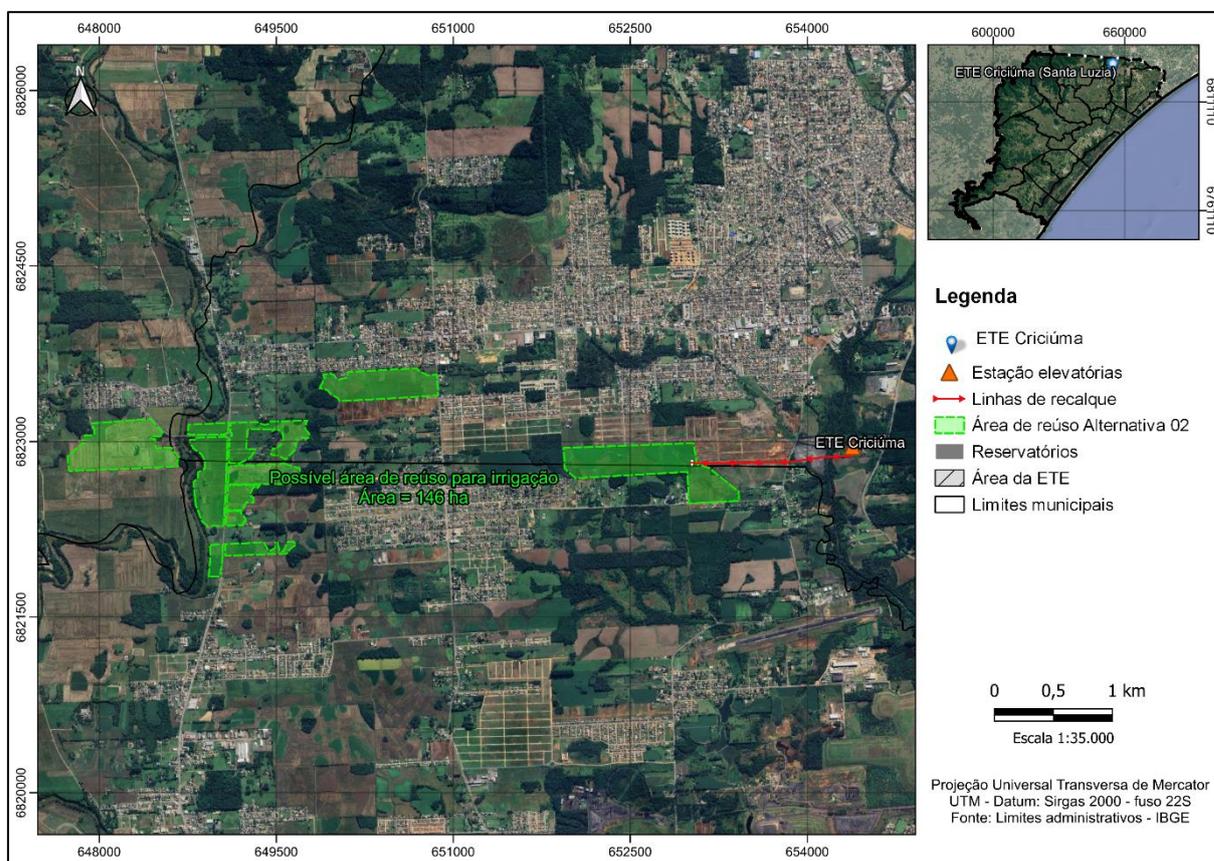
Fonte: Elaborado pelo autor

QUADRO 11 - Abrangência da área de reúso na fase de irrigação contínua – Concepção 02

ETE	Número de reservatórios	Q ETE + Q Reservatório (L/s)	Área de reúso (ha)
ETE Criciúma	1	140,8	140,79
ETE Próspera (Criciúma)	1	60,8	60,79
ETE Sombrio	1	24,3	24,29
ETE Praia Grande	1	19,8	19,79
ETE Turvo	1	24,8	24,79
ETE II (Araranguá)	1	42,4	42,45
ETE I (Araranguá)	1	43,3	43,29
ETE Forquilha	1	40,8	40,79

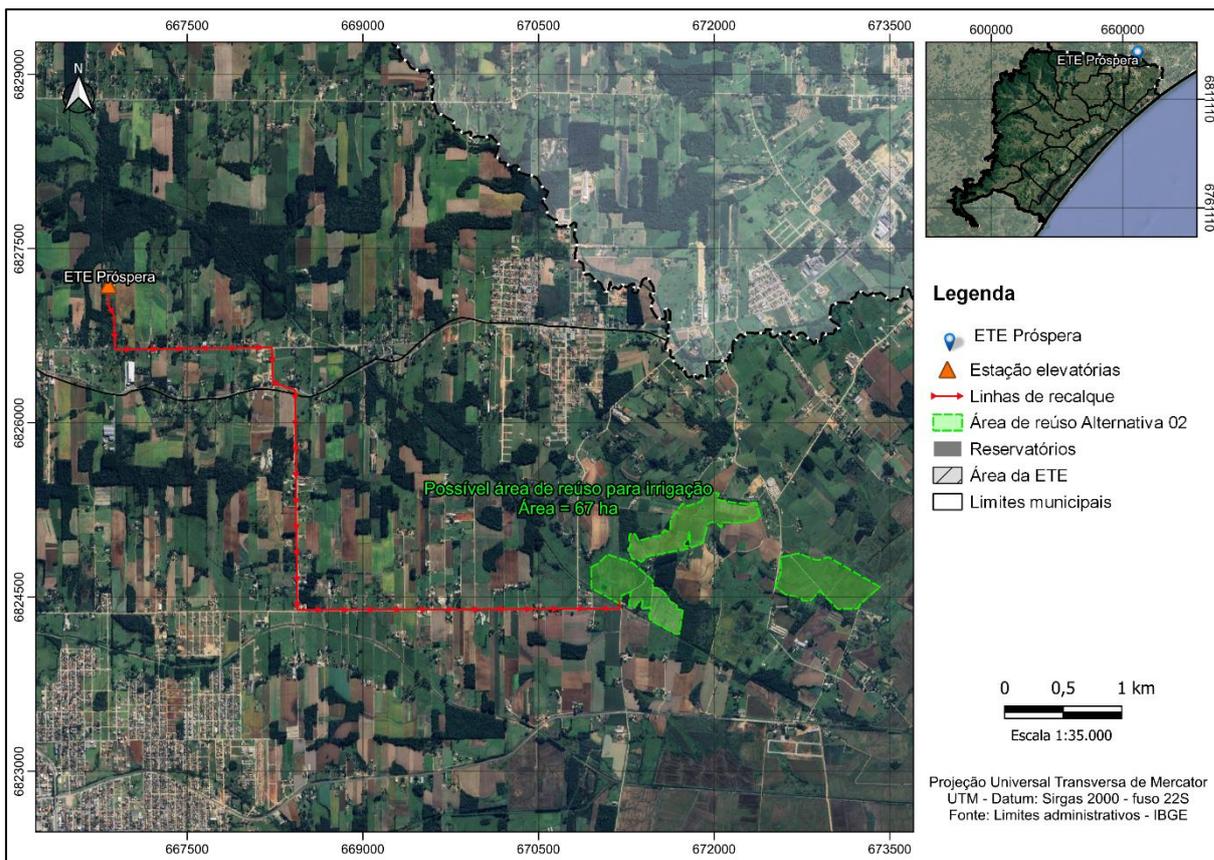
Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 12 - Área irrigada ETE Criciúma Concepção 02



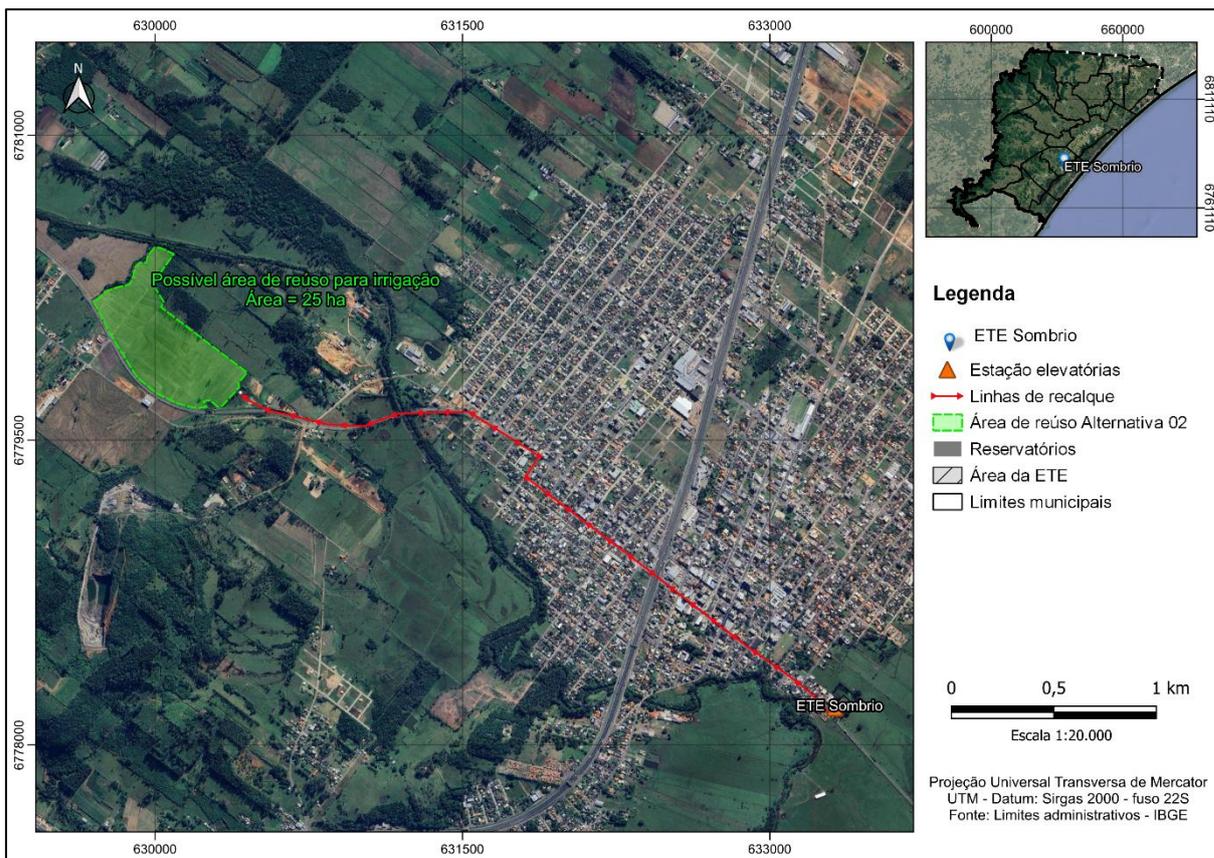
Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 13 - Área irrigada ETE Próspera Conceção 02



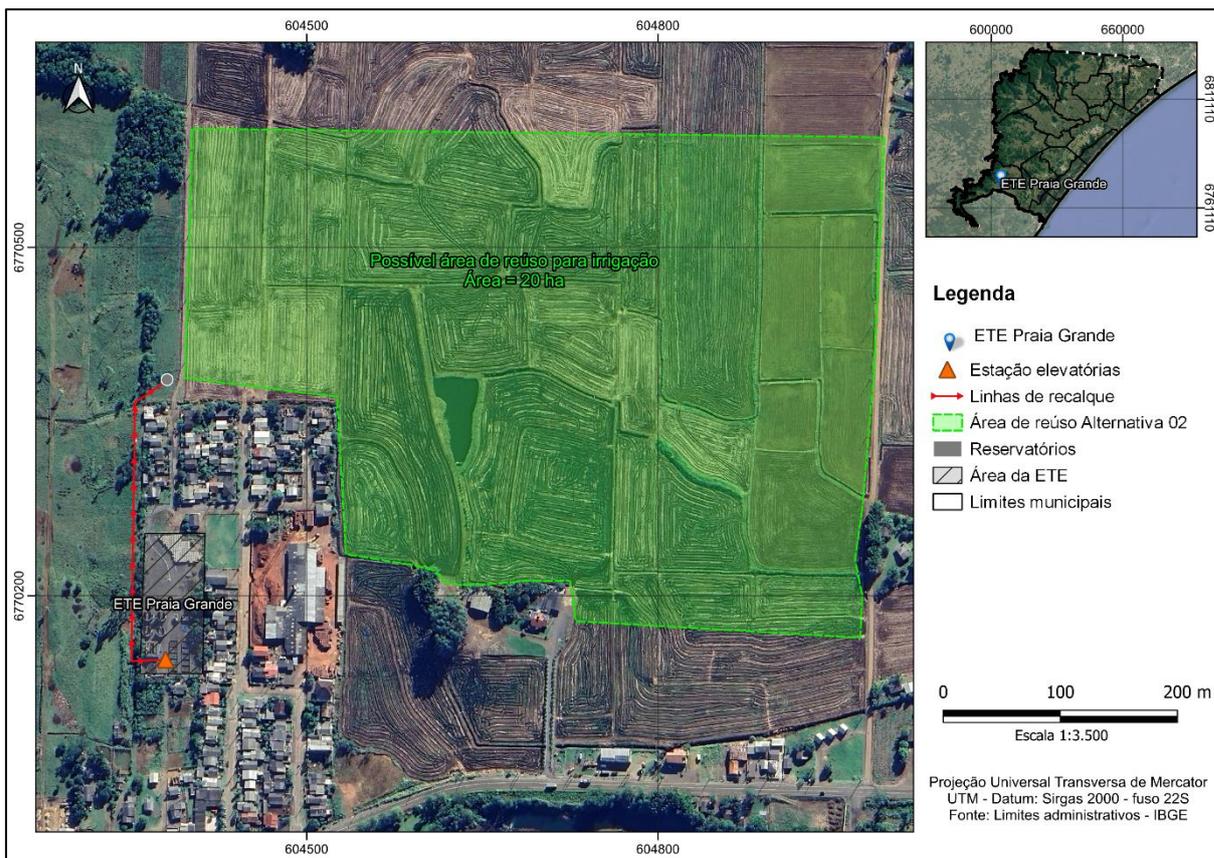
Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 14 - Área irrigada ETE Sombrio Conceção 02



Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 15 - Área irrigada ETE Praia Grande Conceção 02



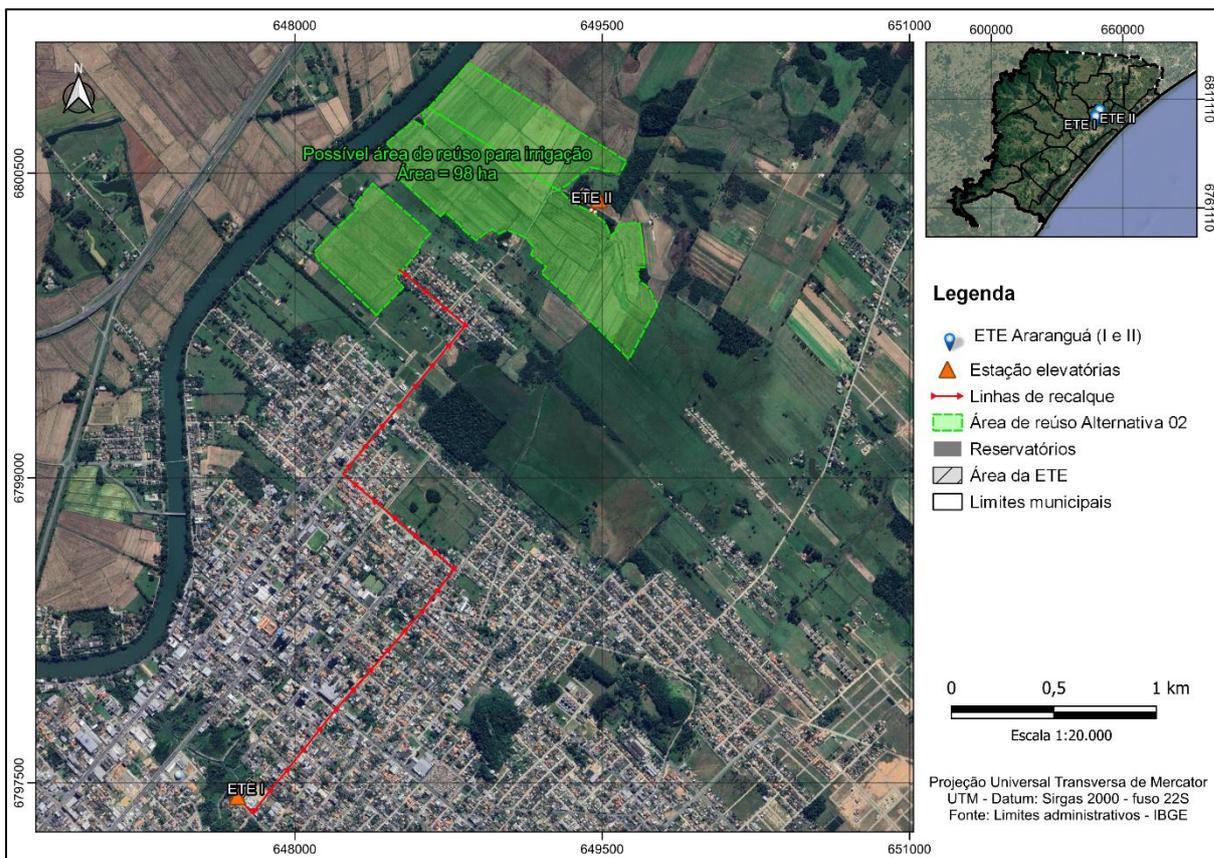
Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 16 - Área irrigada ETE Turvo Conceção 02



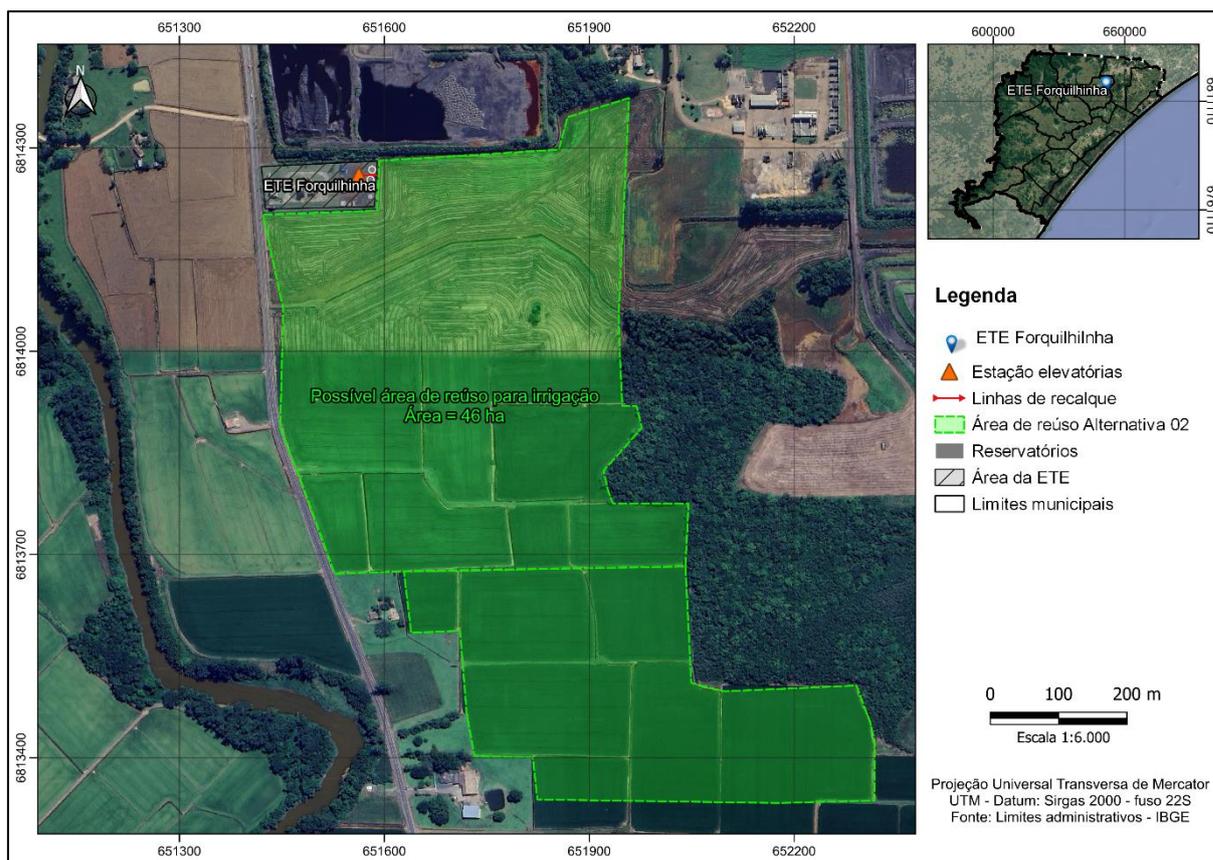
Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 17 - Área irrigada ETE Araranguá I e II Conceção 02



Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 18 - Área irrigada ETE Forquilha Concepção 02



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2 Detalhamento Quantitativo das Estruturas

Na concepção 02, além das EEE e linhas de recalque, temos a construção de reservatórios para compor o sistema de reúso. Os quantitativos das EEE, linha de recalque e reservatórios podem ser vistos no QUADRO 12 e no QUADRO 13.

QUADRO 12 - Quantitativo EEE, LR e Reservatórios – Concepção 02

EEE	Extensão LR (m)	Vazão (l/s)	Diâmetro calculado (mm)	DN (mm)	Volume reservado (m³)
EEE Criciúma	1.448	135	367	400	1.000
EEE Próspera (Criciúma)	7.124	55	235	250	1.000
EEE Sombrio	3.832	18,5	136	200	1.000
EEE Praia Grande	297	14	118	200	1.000
EEE Turvo	34	19	138	200	1.000
EEE II (Araranguá)	72	36,66	191	200	1.000
EEE I (Araranguá)	3.752	37,5	194	200	1.000
EEE Forquilha	49	35	187	200	1.000

Fonte: Elaborado pelo autor

QUADRO 13 - Quantitativo da potência das EEEs – Conceção 02

EEE	Desvio geométrico (m)	Perda de Carga (m)	Altura manométrica (m)	Potência (cv)
EEE Criciúma	3	4,04	7,04	16,89
EEE Próspera (Criciúma)	30	37,21	67,21	65,71
EEE Sombrio	17	7,90	24,90	8,19
EEE Praia Grande	1	0,37	1,37	0,34
EEE Turvo	1	0,07	1,07	0,36
EEE II (Araranguá)	1	0,53	1,53	0,99
EEE I (Araranguá)	9	28,60	37,60	25,07
EEE Forquilha	1	0,33	1,33	0,83

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.3 Capex – Conceção 02

Para esta concepção, os custos de construção dos reservatórios também foram considerados, além das estações elevatórias e linhas de recalque que se mantêm as mesmas entre as concepções. Diferentemente da outra concepção, o principal fator que influencia o custo total de implantação são os reservatórios, pois os mesmos possuem grande capacidade de armazenamento. Como pode ser visto no QUADRO 14, só os custos dos reservatórios representam mais de 50% do valor total nos municípios de Praia Grande e Turvo.

QUADRO 14 - Custos de Implantação - Concepção 02

EEE	Custo unitário EEE (R\$/l/s)	Custo EEE (R\$)	Custo unitário LR (R\$/m)	Custo LR (R\$)	Custo unitário Reservatório (R\$/m³)	Custo reservatório (R\$)	Total (R\$)
EEE Criciúma	R\$ 35.138,00	R\$ 4.743.630,00	R\$ 2.248,84	R\$ 3.256.320,32	R\$ 2.948,66	R\$ 2.948.660,00	R\$ 10.948.610,32
EEE Próspera (Criciúma)	R\$ 43.944,89	R\$ 2.416.968,95	R\$ 1.505,86	R\$ 10.727.746,64	R\$ 2.948,66	R\$ 2.948.660,00	R\$ 16.093.375,59
EEE Sombrio	R\$ 69.852,85	R\$ 1.292.277,73	R\$ 1.214,16	R\$ 4.652.661,12	R\$ 2.948,66	R\$ 2.948.660,00	R\$ 8.893.598,85
EEE Praia Grande	R\$ 69.852,85	R\$ 977.939,90	R\$ 1.214,16	R\$ 360.605,52	R\$ 2.948,66	R\$ 2.948.660,00	R\$ 4.287.205,42
EEE Turvo	R\$ 69.852,85	R\$ 1.327.204,15	R\$ 1.214,16	R\$ 41.281,44	R\$ 2.948,66	R\$ 2.948.660,00	R\$ 4.317.145,59
EEE II (Araranguá)	R\$ 54.980,79	R\$ 2.015.595,76	R\$ 1.214,16	R\$ 87.419,52	R\$ 2.948,66	R\$ 2.948.660,00	R\$ 5.051.675,28
EEE I (Araranguá)	R\$ 54.980,79	R\$ 2.061.779,63	R\$ 1.214,16	R\$ 4.555.528,32	R\$ 2.948,66	R\$ 2.948.660,00	R\$ 9.565.967,95
EEE Forquilha	R\$ 54.980,79	R\$ 1.924.327,65	R\$ 1.214,16	R\$ 59.493,84	R\$ 2.948,66	R\$ 2.948.660,00	R\$ 4.932.481,49
Total	-	R\$ 16.759.723,76	-	R\$ 23.741.056,72	-	R\$ 23.589.280,00	R\$ 64.090.060,48

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.4 Opex – Concepção 02

Os custos de operação da concepção 02 também levaram em consideração o consumo de energia elétrica das estações elevatórias. Assim como na concepção anterior, a diferença entre os custos de operação está relacionada a distância da ETE até a área de cultivo mais próxima. Entretanto, como esta concepção propõe uma operação contínua ao longo do ciclo do cultivo do arroz irrigado, os custos foram calculados para uma operação de 24 horas por dia ao longo de 150 dias, período que ocorre a irrigação da cultura. O QUADRO 15 mostra os custos de operação para um ano de cultivo, enquanto o QUADRO 16 apresenta os custos ao longo de 10 anos em valor presente e uma taxa de 12% a.a.

QUADRO 15 - Custos de operação em um mês de operação – Concepção 02

EEE	Potência (cv)	KW.h/mês	KW.h/5meses	Unitário (R\$/KW)	Total (R\$)
EEE Criciúma	17	8.996	44.982	R\$ 0,59	R\$ 26.629,34
EEE Próspera (Criciúma)	66	34.927	174.636	R\$ 0,59	R\$ 103.384,51
EEE Sombrio	9	4.763	23.814	R\$ 0,59	R\$ 14.097,89
EEE Praia Grande	1	529	2.646	R\$ 0,59	R\$ 1.566,43
EEE Turvo	1	529	2.646	R\$ 0,59	R\$ 1.566,43
EEE II (Araranguá)	1	529	2.646	R\$ 0,59	R\$ 1.566,43
EEE I (Araranguá)	26	13.759	68.796	R\$ 0,59	R\$ 40.727,23
EEE Forquilha	1	529	2.646	R\$ 0,59	R\$ 1.566,43

Fonte: Elaborado pelo autor

QUADRO 16 - Custos de operação em Valor Presente – Conceção 02

Ano	EEE Criciúma	EEE Próspera (Criciúma)	EEE Sombrio	EEE Praia Grande	EEE Turvo	EEE II (Araranguá)	EEE I (Araranguá)	EEE Forquilha
1	R\$ 23.776,20	R\$ 92.307,60	R\$ 12.587,40	R\$ 1.398,60	R\$ 1.398,60	R\$ 1.398,60	R\$ 36.363,60	R\$ 1.398,60
2	R\$ 21.228,75	R\$ 82.417,50	R\$ 11.238,75	R\$ 1.248,75	R\$ 1.248,75	R\$ 1.248,75	R\$ 32.467,50	R\$ 1.248,75
3	R\$ 18.954,24	R\$ 73.587,05	R\$ 10.034,60	R\$ 1.114,96	R\$ 1.114,96	R\$ 1.114,96	R\$ 28.988,84	R\$ 1.114,96
4	R\$ 16.923,43	R\$ 65.702,73	R\$ 8.959,46	R\$ 995,50	R\$ 995,50	R\$ 995,50	R\$ 25.882,89	R\$ 995,50
5	R\$ 15.110,20	R\$ 58.663,15	R\$ 7.999,52	R\$ 888,84	R\$ 888,84	R\$ 888,84	R\$ 23.109,73	R\$ 888,84
6	R\$ 13.491,25	R\$ 52.377,81	R\$ 7.142,43	R\$ 793,60	R\$ 793,60	R\$ 793,60	R\$ 20.633,68	R\$ 793,60
7	R\$ 12.045,76	R\$ 46.765,90	R\$ 6.377,17	R\$ 708,57	R\$ 708,57	R\$ 708,57	R\$ 18.422,93	R\$ 708,57
8	R\$ 10.755,15	R\$ 41.755,27	R\$ 5.693,90	R\$ 632,66	R\$ 632,66	R\$ 632,66	R\$ 16.449,05	R\$ 632,66
9	R\$ 9.602,81	R\$ 37.281,49	R\$ 5.083,84	R\$ 564,87	R\$ 564,87	R\$ 564,87	R\$ 14.686,65	R\$ 564,87
10	R\$ 8.573,94	R\$ 33.287,05	R\$ 4.539,14	R\$ 504,35	R\$ 504,35	R\$ 504,35	R\$ 13.113,08	R\$ 504,35
Total	R\$ 150.461,73	R\$ 584.145,55	R\$ 79.656,21	R\$ 8.850,69	R\$ 8.850,69	R\$ 8.850,69	R\$ 230.117,94	R\$ 8.850,69

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCEPÇÕES PROPOSTAS

As concepções apresentadas possuem características diferentes entre elas. Enquanto a primeira concepção busca uma solução mais simples, para atender uma demanda pontual, a concepção 02 se propõe a operar ao longo de todo ciclo do arroz. Conseqüentemente, os custos de implantação e operação da concepção 01 são menores, todavia, a sua área de abrangência de reúso é menor que a concepção 02. Apesar das diferenças supracitas entre as concepções dos sistemas, buscou-se comparar os custos e benefícios associados que cada concepção traz consigo, com o objetivo de elencar a mais vantajosa.

Conforme apresentado nas concepções, os sistemas de reúso que possuem os menores custos de implantação e operação, são aqueles que as ETEs estão próximas das áreas de cultivo. Das 08 ETEs avaliadas, destaca-se as ETEs Praia Grande, Turvo, Araranguá II e Forquilha como as maiores promissoras para implantação do sistema, pois as mesmas situam-se em áreas rurais e muito próximas as áreas beneficiadas.

5.4.1 Custo por Vazão

A primeira análise entre as concepções tem como objetivo comparar o custo total do sistema em relação a vazão de tratamento da ETE. Como pode ser observado no QUADRO 17, os custos de implantação e operação do sistema não estão relacionados a capacidade de tratamento da ETE. Logo, podemos afirmar que a vazão de tratamento não é fator significativo para as ETE da área de estudo.

QUADRO 17 - Custo por vazão das ETE

EEE	Vazão (l/s)	CONCEPÇÃO 01	CONCEPÇÃO 02
		R\$/l/s)	R\$/l/s)
EEE Criciúma	135	R\$ 59.481,80	R\$ 82.215,35
EEE Próspera (Criciúma)	55	R\$ 241.118,99	R\$ 303.227,66
EEE Sombrio	18,5	R\$ 322.209,19	R\$ 485.040,81
EEE Praia Grande	14	R\$ 95.736,83	R\$ 306.861,15
EEE Turvo	19	R\$ 72.118,72	R\$ 227.684,01
EEE II (Araranguá)	36,66	R\$ 57.413,68	R\$ 138.039,44
EEE I (Araranguá)	37,5	R\$ 177.688,84	R\$ 261.228,96
EEE Forquilha	35	R\$ 56.731,19	R\$ 141.180,92

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4.2 Custo por Área Irrigada

As áreas irrigadas alcançadas pelas concepções são diferentes pela sua concepção. Conforme mostra o QUADRO 18, apesar da concepção 02 conseguir abranger uma área maior que a concepção 01 em todas as EEE. Contudo, o custo unitário ficou consideravelmente maior em todas as localidades, sendo assim, a concepção 01 é mais viável economicamente neste critério. Vale ressaltar que a concepção 02 opera por maior período de tempo, e não somente na fase inicial.

QUADRO 18 - Custo por área irrigada

EEE	CONCEPÇÃO 01		CONCEPÇÃO 02	
	Área irrigada (ha)	R\$/ha	Área irrigada (ha)	R\$/ha
EEE Criciúma	116,64	R\$ 68.844,67	140,79	R\$ 78.835,89
EEE Próspera (Criciúma)	47,52	R\$ 279.072,91	60,79	R\$ 350.957,94
EEE Sombrio	15,984	R\$ 372.927,31	24,29	R\$ 561.389,83
EEE Praia Grande	12,096	R\$ 110.806,51	19,79	R\$ 355.163,37
EEE Turvo	16,416	R\$ 83.470,74	24,79	R\$ 263.523,17
EEE II (Araranguá)	31,67424	R\$ 66.451,02	42,45	R\$ 159.767,87
EEE I (Araranguá)	32,4	R\$ 205.658,38	43,29	R\$ 302.348,33
EEE Forquilha	30,24	R\$ 65.661,10	40,79	R\$ 163.403,84

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4.3 Custo por Volume

Mesmo que a concepção 01 tenha menores custos e tenha potencial para uma considerável área de reúso, sua operação se limita ao intervalo de 20 dias, isso faz com que o volume irrigado seja menor que a concepção 02, que para este estudo foi considerado um período de 150 dias de irrigação. Como mostra o QUADRO 19, a concepção 02 apresenta ser mais viável economicamente, levando em consideração o maior custo benefício que o sistema consegue fornecer de volume de reúso de efluentes tratados.

QUADRO 19 - Custo por volume

EEE	CONCEPÇÃO 01		CONCEPÇÃO 02	
	Volume (m ³)	R\$ / m ³	Volume (m ³)	R\$ / m ³
EEE Criciúma	2.332.800	R\$ 3,44	17.496.000	R\$ 0,63
EEE Próspera (Criciúma)	950.400	R\$ 13,95	7.128.000	R\$ 2,34
EEE Sombrio	319.680	R\$ 18,65	2.397.600	R\$ 3,74
EEE Praia Grande	241.920	R\$ 5,54	1.814.400	R\$ 2,37
EEE Turvo	328.320	R\$ 4,17	2.462.400	R\$ 1,76
EEE II (Araranguá)	633.485	R\$ 3,32	4.751.136	R\$ 1,07
EEE I (Araranguá)	648.000	R\$ 10,28	4.860.000	R\$ 2,02
EEE Forquilha	604.800	R\$ 3,28	4.536.000	R\$ 1,09

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4.4 Custo por Habitante

Não está dentro do escopo deste projeto propor políticas ou ações para viabilizar a implantação do sistema, tão pouco estruturar os mecanismos de pagamentos e identificação dos atores. Entretanto, o reúso de efluentes tratados em qualquer aplicação traz benefícios para sociedade e meio ambiente, e com objetivo de trazer este dado à tona, foi calculado o custo per capita de implantação e operação do sistema de reúso ao longo de 10 anos. Bem como o mostra o QUADRO 20, é apresentado o custo per capita mensal, ou seja, essa seria a contribuição mínima de cada habitante do município.

QUADRO 20 - Custo per capita mensal

Município	População	CONCEPÇÃO 01		CONCEPÇÃO 02	
		Total	R\$/hab/mês	Total	R\$/hab/mês
Criciúma	214.493	R\$ 21.291.587,37	R\$ 0,41	R\$ 27.776.593,19	R\$ 0,54
Sombrio	29.991	R\$ 5.960.870,09	R\$ 0,83	R\$ 8.973.255,06	R\$ 1,25
Praia Grande	8.270	R\$ 1.340.315,56	R\$ 0,68	R\$ 4.296.056,11	R\$ 2,16
Turvo	13.043	R\$ 1.370.255,73	R\$ 0,44	R\$ 4.325.996,28	R\$ 1,38
Araranguá	71.922	R\$ 8.768.116,95	R\$ 0,51	R\$ 14.856.611,86	R\$ 0,86
Forquilha	31.431	R\$ 1.985.591,63	R\$ 0,26	R\$ 4.941.332,18	R\$ 0,66

Fonte: Elaborado pelo autor

6. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou levantar possibilidades de implantação de um sistema de reúso de efluentes de esgoto tratado na rizicultura nos municípios do sul de Santa Catarina. O cultivo do arroz irrigado é uma prática econômica e cultural muito importante para o estado catarinense, presente em mais de 80 diferentes municípios. Entretanto, o cultivo do arroz em sistemas pré-germinados (sistema mais difundido no estado), requer um grande volume de água ao longo de todo ciclo, visto a necessidade de manter uma lâmina d'água de 5 a 10 cm.

Os municípios que compõe a região do sul catarinense foram introduzidos neste estudo devido a expressiva produção de arroz. Inicialmente, levantou-se quais eram as Estações de Tratamento de Esgoto existentes dentro dos 20 municípios estudados, dentre isso, foi possível ver que apenas 06 municípios possuem ETEs com informações referentes a sua localização e vazão de operação. Ao todo, foram levantadas 08 ETEs para este estudo, evidenciando a falta de sistemas de esgotamento sanitário dos municípios.

Embora o número de ETEs na área de estudo não seja elevado, a demanda hídrica do cultivo de arroz é tão significativa, que medidas mais sustentáveis de gestão dos recursos hídricos se mostram cada vez mais promissoras. As concepções apresentadas neste estudo consideraram um cenário mais conservador em relação a área irrigada que o reúso do efluente poderia suprimir, buscando atender um cenário mais próximo da realidade, visto que a execução do sistema poderá ter adversidades e variáveis não previstas neste estudo.

Em ambas as concepções, nota-se que os custos mais elevados de implantação estão relacionados a distância da ETE ao local de cultivo mais próximo, pois o custo das linhas de recalques são a principal diferença entre os locais estudados. ETEs como a de Praia Grande, Turvo, Araranguá II e Forquilha, apresentam boas condições para a implantação do sistema de reúso, já que estão situadas ao lado de uma área de cultivo. Já as ETEs Criciúma, Próspera, Sombrio e Araranguá I, estão situadas em áreas distantes do cultivo de arroz, tendo que ser implantado quilômetros de linhas de recalque, podendo ter sua concepção inviabilizada devido a adversidades de relevo e ocupação do solo no caminho.

A Concepção 01 apresenta custos significativamente menores, tendo em vista que sua concepção é mais simples e de operação pontual. Contudo, a Concepção 02 mostrou ser mais viável economicamente ao considerarmos o volume irrigado, mesmo

com a construção de grandes reservatórios e custo de operação mais elevados devido ao maior período de operação das Estações Elevatórias de Esgoto. Isto ocorre porque o volume de efluente tratado ao longo do horizonte de estudo é expressivamente maior na segunda concepção, tendo um maior aproveitamento do sistema e beneficiando uma maior área e por mais tempo. Desta forma, podemos concluir que a Concepção 02 é a mais viável para todos os municípios estudados, buscando sempre a otimização dos recursos hídricos e beneficiando o maior volume possível de área irrigada na rizicultura.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/porta1/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO(ANA). **Painel de Indicadores - Uso Consultivo da Água**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJr1joiMWE2ZTE1Nm1tOGUyZS00ZTc1LTljMzUtNDgwYjVhODcyNW11liwidCI6ImUwYm10MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>. Acesso em: 28 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (org.). **Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Despoluição de Bacias Hidrográficas. 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>. Acesso em: 30 out. 2019.

AL-HAZMI, Hussein E. *et al.* Wastewater reuse in agriculture: prospects and challenges. **Environmental Research**, [S.L.], v. 236, p. 116711, nov. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2023.116711>.

ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS, G. Water Reuse: From ancient to modern times and the future. **Frontiers Environmental Science**. v. 6, n. 26, 2018

Associação e Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON). **Tabela Referencial de Preços para obras de abastecimento de água e de esgotamento sanitário**. 2023. Disponível em: <https://abconsindcon.com.br/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BRASIL. **Atualiza O Marco Legal do Saneamento Básico**. Brasília, DF,

CARVALHO, Emilson Alano de (Santa Catarina). **Análise de Investimentos**: livro didático. 3. ed. Palhoça: Unisul Virtual, 2014. 98 p.

CECATO, Leonardo Dalri; MAGRI, Maria Elisa. Treated wastewater application in agriculture: potential assessment in the state of santa catarina/brazil. **Sustainability In Debate**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 202-215, 30 abr. 2023. Editora de Livros IABS.

CECATO, Leonardo Dalri. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUPRIMENTO HÍDRICO PARA FINS AGRÍCOLAS A PARTIR DO ESGOTO TRATADO NO ESTADO DE SC**. 2023. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

CELESC. **Tarifas e taxas de energia**. 2023. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia>. Acesso em: 14 nov. 2023.

DO VALE, M. L. C. .; HICKEL, E. R. .; DE ANDRADE, A.; BACK, Álvaro J.; PANDOLFO, C. .; DE OLIVEIRA, D. G. .; WICKERT, E.; MASIERO, F. C. .; MARTINS, G. N.; GUIMARÃES, G. G. F. .; PADRÃO, G. de A.; HAVERROTH, H. S. .; AGOSTINI, I.; SCHEUERMANN, K. K. .; TERRES, L. R. .; PALLADINI, L. A. .; VIANNA, L. F. de N. .; PEREIRA, M. L. T. .; CANTÚ, R. R. .; VERDI, R. .; MARSCHALEK, R. **Recomendações para a produção de arroz irrigado em Santa Catarina: 4a. edição. Sistemas de Produção, [S. l.], n. 56, 2022. Disponível em: <<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/SP/article/view/1587>>. Acesso em: 28 set. 2023.**

EBERHARDT, D.S.; SCHIOCCHET, M.A. (Orgs.). *Recomendações para a produção de arroz irrigado em Santa Catarina (Sistema pré-germinado)*. Florianópolis: Epagri, 2015. 92p.

EPAGRI. KLEBER TRABAQUINI. (org.). **Mapeamento do arroz irrigado em Santa Catarina por imagens de satélite: safra 2018/2019**. Safra 2018/2019. 2021. Disponível em: https://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/site/documentos/painel/cartilha_mapeamento_arroz_irrigado_sc.pdf. Acesso em: 14 out. 2023.

EPAGRI (org.). **Monitoramento de Safras e Mercados Agrícolas**. 2023. Disponível em: <https://www.infoagro.sc.gov.br/safra/>. Acesso em: 14 out. 2023.

Esrey S, Andersson I, Hillers A, Sawyer R. Closing the loop Ecological Sanitation for food security. Stockholm (Sweden)7 SIDA; 2001.

EU. **Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the council**. Of 25 May 2020. On minimum requirements for water reuse. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0741>>. Acesso em: 27 de set. 2023.

GOLDMAN, Pedrinho. Viabilidade de Empreendimentos imobiliários: modelagem técnica, orçamento e risco de incorporação, Pedrinho Goldman. – São Paulo, Pini 2015.

GUERRA-RODRÍGUEZ, Sonia; OULEGO, Paula; RODRÍGUEZ, Encarnación; SINGH, Devendra Narain; RODRÍGUEZ-CHUECA, Jorge. Towards the Implementation of Circular Economy in the Wastewater Sector: challenges and opportunities. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 1431, 18 maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12051431>.

HECKENMÜLLER, M.; NARITA, D.; KLEPPER, G. Global availability of phosphorus and its implications for global food supply: an economic overview, Kiel Working Paper, No. 1897, Kiel Institute for the World Economy, Kiel, 2014.

IBGE (org.). **Censo Agropecuário de 2017**. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 set. 2023a.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em <<http://sidra.ibge.gov.br/home/lspa>>. Acesso em: 28 set. 2023b.

IBGE. (org.). **Censo Demográfico**: tabelas - população por idade e sexo | resultados do universo. Tabelas - População por idade e sexo | Resultados do universo. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=resultados>. Acesso em: 31 out. 2023.

JIMENEZ, B.; ASANO, T.. Water Reuse: an international survey of current practice, issues and needs. **Water Intelligence Online**, [S.L.], v. 7, p. 9781780401881-9781780401881, 30 dez. 2015. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/9781780401881>.

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. Ecological Sanitation-a way to solve global sanitation problems? **Environment International**, v. 31, n. 3, p. 433–444, 2005.

MEDINA, Daniele Samorano et al. Utilização das técnicas TIR e VPL como análise de investimento: Um estudo de caso numa empresa do ramo de autopeças. In: **CONGRESSO DE ADMINISTRAÇÃO DO SUL DE MATO GROSSO**, 3., 2015, Rondonópolis: UFMT, 2015. p. 1 - 20. Disponível em: <<http://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/CONASUM/2015/paper/viewFile/10/5>>. Acesso em: 12 set. 2023.

MOAZENI, M. et al. Estimation of health risks caused by exposure to enteroviruses from agricultural application of wastewater effluents. *Water research*, 125, p. 104-113, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.028>.

MOTA, Suetonio. REÚSO DE ÁGUAS NO BRASIL: situação atual e perspectivas. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 666, 6 ago. 2022. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.2.79185>.

SÃO PAULO. CETESB. **Reuso de água**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 11 set. 2023.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes; CARDOSO, Eridson Aristides da Cunha; VARANDA, Luciano Donizeti; CHRISTOFORO, André Luís; MALINOVSKI, Ricardo Anselmo. Análise de viabilidade econômica de três sistemas produtivos de carvão vegetal por diferentes métodos. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 185-193, fev. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622014000100018>.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Cachoeirinha: SOSBAI, 2018. 205 p.

SOUSA, Arielle da Rosa. **Potencialidade de reuso do esgoto tratado em sistemas wetlands construídos no contexto brasileiro**. 2023. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

STONE, Luís Fernando. **Eficiência do Uso da Água na Cultura do Arroz Irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2005. 48 p.

TELLES, D. D. A.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. Ed. Blucher, 2007.

WERNER, C.; PANESAR, A.; RÜD, S.B.; OLT, C.u.. Ecological sanitation: principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management. **Desalination**, [S.L.], v. 248, n. 1-3, p. 392-401, nov. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.080>.

WHO – World Health organization. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** Vol 4. Geneva: World Health Organization, 2006.

WWP (United Nation World Water Assessment Programme). 2017. The United Nation World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO.