

Artigo de Revisão

GESTÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS LÍQUIDOS: CASO TOLUENO IMUNANA-LARANJAL 2024

Management of liquid industrial effluents: case of toluene imunana-laranjal 2024

Vinicius Marques Lima Almeida*, Andressa Dias Gusmão de Sousa, Janderson Júnio Rodrigues Aguiar, João Marcos de Castro Silva, Ludmila de Souza Soares, Thaynara da Silva Aguiar, Ingrid Teixeira do Nascimento e Edison Cesar de Faria Nogueira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, *campus* Nilópolis.
R. Lúcio Tavares, 1045, Centro, Nilópolis, RJ. CEP: 26530-060

Submetido em: 15.10.2024; Aceito em: 02.06.2025; Publicado em: 24.06.2025.

***Autor para correspondência:** vinicius87935@outlook.com

Resumo: A gestão de efluentes líquidos industriais deve estar compatibilizada com os aspectos de segurança, sociais, saúde pública, meio ambiente e sustentabilidade através de meios de produção mais modernos e eficientes, que reduzam o consumo de água, a perda de produtos/matéria-prima e pela prevenção de desperdício e vazamentos. Deste modo foi realizado o levantamento da legislação que regulamenta a gestão de efluentes industriais líquidos, assim como, instruções e normas que orientem a gestão desses efluentes. Também foi feita uma revisão sistemática na literatura acerca da gestão de efluentes industriais líquidos. Em seguida, o estudo de caso Tolueno Imunana-Laranjal 2024 é apresentado como expoente das consequências sanitárias, ambientais e socioeconômicas geradas pela ausência/ineficiência de mecanismos de gestão, controle e responsabilização do tratamento de efluentes industriais líquidos, especificamente, o tolueno. Foi concluído que para um descarte seguro e ambientalmente responsável de efluentes industriais, é necessário atender às exigências estabelecidas pela legislação e pelas normas técnicas aplicáveis, além de cumprir com as regulamentações específicas dos órgãos ambientais competentes. O caso Tolueno Imunana-Laranjal, além de expressar um risco sanitário e ambiental provocou consequências econômicas e sociais que devem ser evitadas e punidas.

Palavras-chave: Efluentes Industriais, Tolueno, Imunana-Laranjal

Abstract: The management of industrial liquid effluents must be compatible with safety, social, public health, environmental and sustainability aspects through more modern and efficient production methods that reduce water consumption, product/raw material loss and prevent waste and leaks. In this way, a survey of the legislation that regulates the management of liquid industrial effluents was carried out, as well as instructions and standards that guide the management of these effluents. A systematic review of the literature on the management of liquid industrial effluents was also carried out. Next, the Tolueno Imunana-Laranjal 2024 case study is presented as an example of the health, environmental and socioeconomic consequences generated by the absence/inefficiency of management, control and accountability mechanisms for the treatment of liquid industrial effluents, specifically toluene. It was concluded that for a safe and environmentally responsible disposal of industrial effluents, it is necessary to meet the requirements established by the applicable legislation and technical standards, in addition to complying with the specific



regulations of the competent environmental agencies. The Toluene Imunana-Laranjal case, in addition to expressing a health and environmental risk, caused economic and social consequences that must be avoided and punished.

Keywords: Industrial Effluents, Toluene, Imunana-Laranjal

INTRODUÇÃO

A produção de efluentes líquidos pela indústria pode ocorrer de diversas formas: durante o processo produtivo, lavagem de máquinas, tubulações e pisos, sistema de refrigeração, geradores a vapor e esgoto sanitário utilizado pelos funcionários, que ao serem despejados, provocam a poluição/degradação dos corpos d'água receptores devido aos resíduos inerentes a este processo que alteram as características físico-química-biológica da água podendo gerar a suspensão de sólidos, proliferação de microrganismos, alteração de temperatura, radiação e solubilidade de substâncias (GIORDANO *et al.*, 2004). Um processo industrial que busca compatibilizar a produção com a conservação do meio ambiente deve adotar meios de produção mais modernos e eficientes, reduzir o consumo de água e a perda de produtos/matéria-prima na rede de coleta, além de estabelecer um sistema de manutenção que previna desperdício e vazamentos (GIORDANO *et al.*, 2004).

Buscando a conservação dos corpos d'água e em atendimento a legislação ambiental, processos de tratamento de efluentes líquidos devem ser adotados. Este tratamento se divide em três etapas: Processos físicos, que removem os poluentes sólidos em suspensão através do gradeamento, peneiramento, separação de óleos e gorduras, sedimentação, flotação; Processos biológicos, que removem os poluentes orgânicos através da transformação; e os Processos químicos, que removem substâncias poluentes através de reações químicas de coagulação, floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção (GIORDANO *et al.*, 2004). Medeiros (2022), avalia riscos à saúde humana por compostos orgânicos voláteis (de acordo com CETESB (2021), todos os compostos de carbono participam em reações fotoquímicas atmosféricas) e classifica o potencial risco à saúde humana devido à exposição de receptores às substâncias químicas, a exemplo da liberação de combustíveis (gasolina, diesel ou etanol). O tolueno possui em sua composição orgânica sete moléculas de carbono e oito moléculas de hidrogênio, sendo um líquido incolor e de odor aromático, utilizado principalmente na mistura denominada BTX (benzeno, tolueno e o-xilenos), encontrada na gasolina, mas também, como solvente em tintas, revestimentos, óleos e resinas e na fabricação de polímeros de borracha. Geralmente, o risco à saúde humana se dá pela inalação, que afeta o sistema nervoso central, podendo causar irritação das vias aéreas e olhos, dor de garganta, tontura e cefaleia até a diminuição auditiva e surdez (CETESB, 2012).

Entretanto, a contaminação dérmica e digestiva pelo tolueno tomou relevância no estado do Rio de Janeiro durante o primeiro semestre de 2024, após a paralisação da Estação de Tratamento de Água Imunana-Laranjal, operada pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto Cedae, no início do mês de abril (CEDAE, 2024). A decisão da companhia pela paralisação da estação de tratamento ocorreu após o resultado de amostras retiradas do sistema de abastecimento, que apresentaram uma concentração de tolueno acima de 30 µg/L, limite estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e padrões de potabilidade (CEDAE, 2024).

Além do Ministério da Saúde, o Conselho Nacional do Meio Ambiente também estabelece condições e padrões da água pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. A resolução em seu Capítulo III estabelece limites individuais para determinadas substâncias em cada classe dos corpos d'água, no caso do tolueno os limites máximos estabelecidos são: 215 µg/L em águas salobras (de acordo com CETESB (2017), água com salinidade superior a 0,5 partes por mil e inferior a 30 partes por mil) e salinas (de acordo com CETESB (2017), água com salinidade igual ou superior a 30 partes por mil) e 2,0 µg/L em águas doces (de acordo com CETESB (2017), águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 partes por mil); complementada posteriormente pela Resolução CONAMA nº 430, de 13 maio de 2011 que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes (de acordo com CONAMA (2011), termo usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos) em corpos d'água receptores, o tolueno possui um limite máximo de 1,2 mg/L, ou seja 1.200,0 µg/L.

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho consiste no levantamento da legislação que regulamenta a gestão de efluentes industriais líquidos, assim como, instruções e normas que orientem a gestão desses efluentes considerando os aspectos de segurança, sociais, saúde pública, meio ambiente e sustentabilidade. O trabalho também irá apresentar um estudo de caso através da pesquisa científica analisando um fenômeno atual aqui denominado de Tolueno Imunana-Laranjal 2024, expoente das consequências sanitárias, ambientais e socioeconômicas geradas pela ausência/ineficiência de mecanismos de gestão, controle e responsabilização do tratamento de efluentes industriais líquidos, especificamente, o tolueno. Deste modo busca-se estimular o debate crítico sobre crimes relacionados à contaminação dos corpos d'água, as ações de contingenciamento e os desafios enfrentados.

REFERENCIAL TEÓRICO

Tolueno

O tolueno é um hidrocarboneto aromático, líquido e incolor, com odor característico. Ele é derivado do alcatrão da hulha e do petróleo, sendo amplamente utilizado como solvente na indústria. Suas aplicações abrangem a produção de tintas, explosivos, corantes, medicamentos, detergentes e como solvente industrial em processos de fabricação de borrachas e óleos. Além disso, o tolueno é um dos componentes presentes na cola de sapateiro e na gasolina, sendo esta última a principal fonte de emissão atmosférica e exposição para a população em geral (AUGUSTO *et al.*, 2012).

Em condições padrão de temperatura e pressão (25°C e 1 atm), este hidrocarboneto pode facilmente se volatilizar, aumentando o risco de exposição humana. Pode também causar efeitos irritativos na pele e nas mucosas, além de efeitos neurotóxicos. A exposição aguda ao tolueno se assemelha aos sintomas de intoxicação por etanol, com euforia e dor de cabeça inicialmente, seguidos por depressão do sistema nervoso central. Os efeitos desse hidrocarboneto no organismo dependem da concentração e do tempo de exposição, podendo causar danos crônicos, como hepatotoxicidade, nefrotoxicidade, anestesia e danos ao sistema cardiovascular e respiratório. Os mecanismos de ação do tolueno incluem a lesão das estruturas da orelha interna e do sistema nervoso (AUGUSTO *et al.*, 2012).

Augusto *et al.* (*loc.cit.*) também afirmam que o tolueno representa um alto risco, especialmente em contextos ocupacionais onde a exposição a múltiplos agentes é comum. Apesar das regulamentações vigentes, é necessário um esforço contínuo para avaliar os efeitos combinados de substâncias químicas e melhorar os programas de segurança e saúde no trabalho, visando reduzir os riscos de exposição e prevenir danos irreversíveis, como a perda auditiva.

Efluentes industriais líquidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 9800 de 1987, que estabelece critérios para o lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgotos sanitários, define esses efluentes como despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial que compreende efluentes do processo, como águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico. Já os efluentes do processo industrial são definidos como os despejos líquidos originados nas áreas de processamento industrial, que inclui os gerados pelo processo de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial.

Giordano *et al.* (2004), tratam em sua literatura sobre a expansão e desenvolvimento das atividades urbanas e industriais ao longo dos rios e sobre fenômenos sociais que ao decorrer do tempo geraram alterações físicas, químicas e biológicas da qualidade hídrica. Os rios além de viabilizarem abastecimento das cidades e indústrias também foram utilizados para o escoamento de dejetos, que consequentemente provocam a degradação dos corpos d'água. Com foco na produção industrial, medidas que visam o dimensionamento, controle e redução da poluição pelos efluentes líquidos devem ser adotadas para atender os parâmetros sanitários adequados, sendo necessário a determinação dos processos de tratamento a serem utilizados, definição do grau de controle da poluição e a localização da indústria, assim como, identificar as características poluentes da atividade desempenhada (GIORDANO *et al.*, 2004).

Segundo Tolêdo & Barros (2022), as substâncias utilizadas no processo de produção definem a composição dos efluentes industriais, deste modo, a instituição que busca um tratamento de efluentes eficaz deve entender os processos e etapas de tratamento, assim como, o enquadramento desses efluentes nos limites de descarte determinados pelas leis vigentes e aplicáveis, além de conhecer as tecnologias para a remoção de poluentes, aprimorar, expandir e viabilizar o tratamento, como também, informar as partes interessadas – *stakeholders* - os casos onde ocorra inconformidade no descarte. Ainda segundo Tolêdo & Barros (2022), os processos de remoção de poluentes através de processos físicos, químicos e biológicos devem se atentar aos limites de descarte e assegurar a qualidade dos corpos d'água para uso presente e futuro.

Gestão de efluentes industriais

A variabilidade na composição dos efluentes gerados em diferentes setores industriais exige uma abordagem de tratamento específica, que leve em consideração as características químicas, físicas e biológicas dos resíduos. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, a NBR 9800 define os critérios para o lançamento de efluentes líquidos no sistema coletor público, abordando a necessidade de classificar os efluentes em função da sua periculosidade e potencial de poluição.

As normas e regulamentos do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), especialmente as Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011, estabelecem os limites de concentração e condições de lançamento para diferentes substâncias presentes nos efluentes, com o objetivo de garantir a qualidade dos corpos d'água receptores. Especificamente, para compostos como o tolueno, os regulamentos impõem limites rigorosos devido ao seu potencial de causar danos ao sistema nervoso central e outros efeitos adversos à saúde.

O Sistema de Gestão Ambiental definido pela Organização Internacional de Normalização, através da ISO 14001, oferece orientações para a construção de um sistema de gerenciamento ambiental eficaz que inclui o manejo adequado de efluentes industriais. Deste modo, dentro de um aspecto ambiental consciente e responsável, empresas e organizações devem adotar práticas que promovam a melhoria constante na gestão de seus resíduos, buscando minimizar seus impactos ambientais e viabilizar a sustentabilidade (ISO 14001:2015). A adoção de práticas como redução na fonte, segregação e armazenamento adequado, tratamento e destinação final responsável, monitoramento, assim como, a conscientização e capacitação promovem uma gestão de resíduos eficiente visando a conservação ambiental e preservação da saúde pública (Lei nº 12.305/2010).

Crimes ambientais e à saúde pública

As leis de Crime Ambiental e Política Nacional do Meio Ambiente, de acordo com seus determinados objetivos específicos, buscam garantir a conservação e sustentabilidade ambiental, pela definição de infrações e estabelecimento de penalidades que variam de multas, penas de prisão para os responsáveis pelos crimes ambientais. Também regulamentam e coordenam as ações de controle e monitoramento ambiental através do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), estabelece medidas de recuperação e o controle de fontes de poluição.

Ações ou omissões que prejudiquem o meio ambiente, fauna, flora ou patrimônio cultural configuram crimes ambientais, incluindo poluição e degradação de corpos d'água. A Lei nº 9.605/1998, ou Lei dos Crimes Ambientais, estabelece sanções penais e administrativas para atividades lesivas ao meio ambiente, abrangendo crimes contra fauna, flora, poluição, ordenamento urbano, patrimônio cultural e administração ambiental. Prevê detenção de 1 a 3 anos e/ou multa para crimes que causem a morte de fauna aquática por efluentes ou materiais carreados, e reclusão de 1 a 5 anos para poluição que exija interrupção do abastecimento de água, além de punições para descarte irregular de resíduos.

Com objetivo de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, conhecida como Lei de Política Nacional do Meio Ambiente estabelece princípios, como: o controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras, acompanhamento do estado da qualidade ambiental e recuperação de áreas degradadas. Como também traz algumas definições, por exemplo, sobre poluição como qualquer atividade direta ou indireta que acarrete na degradação da qualidade ambiental, que prejudique a saúde, segurança e o bem-estar da população, crie condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente a biota, as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e que lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em três etapas para estruturar o desenvolvimento e atingir o objetivo do trabalho. A primeira etapa foi uma revisão sistemática para analisar na literatura resultados sobre a gestão de efluentes industriais líquidos. A segunda definiu o ambiente regulatório, identificando instituições, entidades e normas que regulamentam e fiscalizam esses efluentes. A terceira etapa realizou o levantamento de dados para o estudo do caso "Tolueno Imunana-Laranjal 2024", utilizando informações de concessionárias, prefeituras, órgãos estaduais e municipais, além de notícias na imprensa.

Uma revisão sistemática foi feita, a fim de encontrar artigos que fornecessem embasamento para a pesquisa. A base de dados utilizada foi o Google Acadêmico, através dos termos de pesquisa "gestão de efluentes", "efluentes industriais líquidos" e "tolueno", com um horizonte temporal entre 2012 e 2023, no qual 5 artigos tiveram aproveitamento por conterem informações que contribuem com a composição deste trabalho, através de estudos sobre tratamento de efluentes industriais. Um trabalho de 2004 foi incluído por possuir definições de grande relevância para este estudo. Logo, na seção de Resultados, serão abordados os 6 estudos selecionados para embasamento deste estudo.

Para definição do ambiente regulatório, foram levantadas normatizações da Associação Brasileira de Normas Técnicas e do Ministério do Trabalho e Emprego, leis federais de política e de crime ambiental pela Casa Civil, leis federais sobre efluentes industriais líquidos no Ministério da Saúde e no Conselho Nacional do Meio Ambiente; a lei estadual no Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro e lei municipal sobre Política Ambiental do Município de São Gonçalo. Como executor das políticas de meio ambiente, o Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Defesa Civil de São Gonçalo. Como órgão de execução do policiamento ambiental, o Comando da Polícia Ambiental do Estado do Rio de Janeiro e como instituição de referência sobre estudos e debates dos efluentes líquidos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, conforme o detalhamento na Quadro 1.

	Instruções, Normas e Leis	
Federal	Casa Civil	Lei Federal nº 9.605/1998 - Lei dos Crimes Ambientais
	Casa Civil	Lei Federal nº 6.938/1981 - Política Nacional do Meio Ambiente
	Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	NBR ISO 9800 - Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário.
	Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	NBR ISO 14001 - Sistemas de Gestão Ambiental
	Ministério da Saúde (MS)	Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 - Dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
	Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)	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.

	Instruções, Normas e Leis	
Federal	Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)	Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 - Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
Estadual	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro (CONEMA)	CONEMA Nº 86, de 7 de dezembro de 2018 - Critérios e padrões para controle da ecotoxicidade aguda em efluentes líquidos
	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro (CONEMA)	CONEMA nº 93, de 1 de outubro de 2021 - Programa Estadual de Autocontrole de Efluentes Líquidos - PROCON Água.
	Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA)	Norma Técnica NT-202. R-10 - Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos.
Municipal	Câmara Municipal de São Gonçalo	Lei Ordinária nº 16/2001 - Dispõe sobre a Política Ambiental do Município de São Gonçalo.

Quadro 1. Instruções, normas e leis levantados. Fonte: autoria própria.

Para o levantamento de dados do estudo do caso, foram consultados e monitorados sites oficiais e documentos veiculados pela imprensa da Polícia Civil, Polícia Militar, da Prefeitura Municipal de São Gonçalo, do Estado do Rio de Janeiro, do Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro, das concessionárias de captação, tratamento e distribuição de água, Companhia Estadual de Águas e Esgoto (Cedae), Águas de Niterói e Águas do Rio, entre outros veículos de imprensa confiáveis dentro do período de abril de 2024 a agosto de 2024. Esse levantamento é demonstrado na Quadro 2.

Caso Tolueno Imunana-Laranjal 2024		
O que é o Sistema Imunana-Laranjal?		Levantamento da sua composição, localidade e gestão.
Quem?	Quando?	Identificação a responsabilidade e punir; Identificar e direcionar ações.
Como?	Onde?	
Ações de Contingência	Riscos Associados	Execução das ações de descontaminação; Levantamento dos riscos sanitários e ambientais da contaminação.
Consequências Diretas	Consequências Indiretas	Levantamento das regiões afetadas pela paralisação do abastecimento; Levantamento de outros efeitos sócio-econômicos.

Quadro 2. Definição do ambiente regulatório. Fonte: autoria própria,

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Revisão sistemática

A análise dos dados revelou seis exemplos de melhorias na gestão de efluentes industriais. Giordano *et al.* (2004) observaram que técnicas de controle de efluentes são ineficazes sem modernização de processos, otimização de arranjos, redução do consumo de água, perdas de produtos e matérias-primas, além da manutenção de infraestrutura para minimizar vazamentos e desperdício energético. Eles destacam que a eficiência ambiental depende da eficiência industrial, obtida por meio de processos otimizados e tratamentos compatíveis com os corpos d'água receptores.

Xavier *et al.* (2020) avaliaram os limites de qualidade da água estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA, analisando sua eficácia na preservação de ecossistemas. Testaram seis substâncias (dois agrotóxicos: atrazina e glifosato; dois solventes: benzeno e tolueno; alumínio; e ácido fênico do grupo fenol), seguindo protocolos internacionais e normas técnicas brasileiras. Os resultados mostraram toxicidade em pelo menos um organismo testado para cada substância, indicando que os limites estabelecidos não garantem a qualidade ambiental e sugerindo a necessidade de testes com diferentes organismos. Esses dados, juntamente com os demais outros estudos considerados, estão sintetizados no Quadro 3.

Autor	Ano	Objetivo	Ferramentas	Resultados
Giordano <i>et al.</i> (colocar o “et al. Em itálico)	2004	Compatibilizar a produção industrial, a fim de conservar o meio ambiente	Mecanismos de sustentabilidade	A implementação de técnicas depende da modernização e otimização dos processos
Xavier <i>et al.</i>	2020	Analisar a qualidade dos cursos hídricos estabelecidos pelo CONAMA	Agrotóxicos: atrazina e glifosato; solventes: benzeno e tolueno; metal: alumínio; e o ácido fênico	Necessidade de diferentes organismos para avaliar a qualidade ambiental
Medeiros	2022	Avaliar e classificar riscos à saúde humana por compostos orgânicos voláteis	Cálculo das planilhas da CETESB	Constatação das concentrações máximas aceitáveis para benzeno na água e tolueno
Magnanti <i>et al.</i>	2020	Analisar os efeitos fisiológicos causados pelo tolueno em trabalhadores	Coleta de dados de empresas metal mecânicas para testes laboratoriais	Houve aumento nos níveis de Ácido Hipúrico Urinário e diminuição da contagem plaquetária após 2 anos de trabalho
Tolêdo & Barros	2022	Analisar aplicações dos processos de tratamento de efluentes industriais e de descarte de águas	Empregar tecnologias de acordo com as características do efluente e dos poluentes	Processos físicos, químicos e biológicos são necessários para remoção de poluentes

Awuchi <i>et al.</i>	2020	Analisar soluções para a gestão eficaz de resíduos industriais	estudos de casos aplicados à gestão de resíduos líquidos, sólidos e eletrônicos	Identificação de práticas eficazes de tratamento; ênfase em tecnologias sustentáveis e gestão integrada
----------------------	------	--	---	---

Quadro 3. Resumo da análise dos estudos selecionados. Fonte: autoria própria.

Tolêdo & Barros (2022), afirmam que independente das etapas, processos e tecnologias utilizadas, o tratamento necessita ser eficaz, de forma a tratar a ecotoxicidade do efluente e diminuir o potencial impacto à biota aquática, assegurando a qualidade da água do corpo receptor no presente e para as gerações futuras. Logo, a escolha dos processos que serão empregados para remoção dos poluentes, dependem da composição do efluente e das substâncias a serem removidas, além dos limites de despejo a serem atendidos. Eles relatam que fatores como custo de implementação e operacional também influenciam nessa escolha. Por fim, demonstram em seu trabalho os fundamentos e aplicações dos processos de tratamento de efluentes industriais (físicos, químicos e biológicos), bem como as legislações de descarte de águas residuais.

Medeiros (2022) avaliou riscos carcinogênicos e não carcinogênicos em um posto de combustível, delimitando plumas de contaminação e analisando a exposição a vapores orgânicos voláteis. Foram calculadas Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA) para futuros monitoramentos, com riscos não carcinogênicos abaixo de 1 e carcinogênicos abaixo de 10^{-5} para os cenários e receptores analisados. As CMA estabelecidas incluem benzeno e tolueno na água, além de etilbenzeno e xilenos no solo, fundamentando planos de monitoramento e intervenção.

Magnanti *et al.* (2020) investigaram a relação entre parâmetros hematológicos de trabalhadores de indústrias metalmecânicas e os níveis de Ácido Hipúrico Urinário e Chumbo sérico. Constatou-se que, embora os Equipamentos de Proteção Individual e Coletiva (EPIs e EPCs) fossem usados, não evitaram totalmente os efeitos de compostos químicos, como o tolueno, que afetaram a contagem plaquetária dos trabalhadores.

Awuchi *et al.* (2020), tem como principal objetivo discutir os desafios, estratégias e soluções relacionadas à gestão de resíduos industriais, incluindo efluentes líquidos, resíduos sólidos e eletrônicos. Eles abordam a importância de práticas eficazes para minimizar os impactos ambientais e os riscos à saúde pública associados a esses resíduos.

Efluentes industriais e seus impactos

Dentro do aspecto dos efluentes industriais, algumas medidas mais específicas devem ser adotadas para garantir a proteção da sociedade e do meio ambiente por meio de um sistema de gestão ambiental. Awuchi (2020) reforça a importância de práticas de gestão de resíduos industriais que levem em conta não apenas a eficiência dos tratamentos, mas também os riscos sanitários associados a descargas inadequadas. É importante realizar monitoramento contínuo da qualidade do solo, água e ar para detectar e mitigar quaisquer impactos ambientais resultantes da gestão inadequada de resíduos líquidos; promover práticas de redução na fonte, reuso e reciclagem dos resíduos líquidos para minimizar a quantidade de resíduos gerados e reduzir o impacto ambiental; e adotar procedimentos adequados de armazenamento e transporte para resíduos líquidos, garantindo que sejam realizados de forma a prevenir vazamentos e contaminações que possam afetar a sociedade (Lei nº 12.305/2010).

Também deve haver o monitoramento contínuo dos impactos ambientais causados pelos resíduos líquidos para tomar medidas capazes de reduzir esses impactos, incluindo a proteção das fontes de água e do solo. É importante desenvolver e implementar planos de emergência para lidar com derramamentos e outras situações de crise, assegurando uma resposta rápida para minimizar impactos na sociedade, elaborar e implementar planos de gerenciamento de resíduos líquidos que incluem estratégias para minimizar a geração de resíduos e mitigar impactos ambientais, além de promover a educação e a conscientização da comunidade sobre os riscos associados ao manejo inadequado de resíduos líquidos, práticas seguras a serem seguidas, práticas ambientais sustentáveis para incentivar a proteção do meio ambiente (CONAMA n° 430/2011).

O Tolueno

No estado do Rio de Janeiro existem várias empresas que utilizam o tolueno no processo industrial, entretanto, um dos principais setores suspeitos pela contaminação do rio Imunana foi o petroquímico, devido à proximidade geográfica, conforme observado no Figura 1.



Figura 1. Mapa COMPERJ com a localização do Arco Metropolitano. Fonte: COMPERJ, 2008.

Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde) o valor guia para proteção à saúde é $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como média semanal para proteção contra efeitos no sistema nervoso central e efeitos na reprodução humana (CETESB, 2021).

Sistemas Imunana-Laranjal

O Sistema Imunana-Laranjal, gerido pela concessionária Cedae, apresenta uma vazão nominal de 5.500 l/s. Este sistema é composto pelo Canal de Imunana, que realiza a captação e condução da água dos rios Guapiaçu e Macacu até a elevatória de água bruta, localizada no município de Guapimirim - RJ. A água é então bombeada até a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Laranjal, situada em São Gonçalo - RJ (CEDAE e INEA, 2024), conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Mapa do Sistema Imunana – Laranjal. Fonte: INEA, 2016.

Após o tratamento da água captada, o sistema abastece uma população entre 1,5 milhão e 2 milhões de habitantes nos municípios de Niterói, São Gonçalo, parte de Itaboraí, Ilha de Paquetá e os distritos de Inoã e Itaipuaçu, em Maricá (CEDAE e INEA, 2024). Esse esquema é mostrado na figura 3.

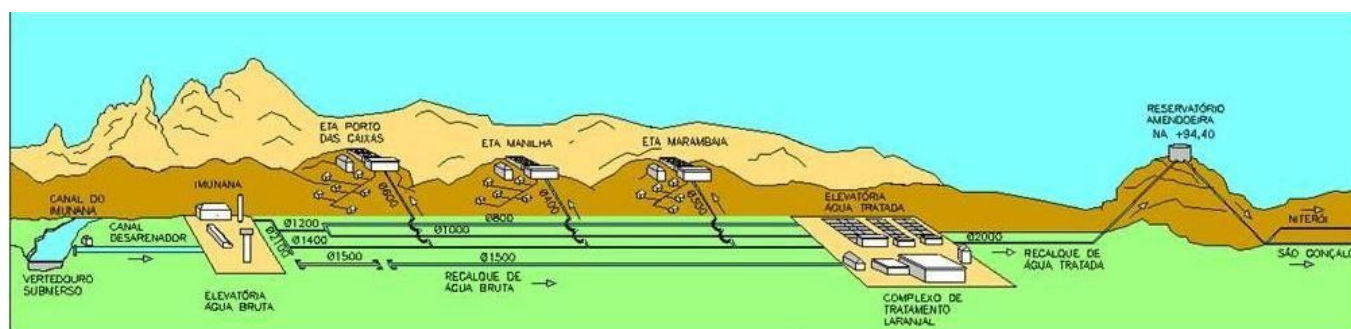


Figura 3. Diagrama esquemático da Estação de Tratamento do Laranjal. Fonte: CEDAE, 2020.

O Sistema Imunana-Laranjal é composto por uma barragem submersa e um sistema de comportas e desarenadores no leito do Canal Imunana que direciona o fluxo do canal de adução e controla as vazões captadas e remanescentes ao sistema de elevatória de água bruta e através de um conjunto de 5 bombas e adutora que conduzem a água até a Estação de Tratamento de Laranjal. A estação de tratamento possui uma capacidade de projeto de 7 m³/s e sua produção flui por gravidade para o reservatório de água tratada que alimenta as estações elevatórias. Após o tratamento, inicia-se um subsistema de recalque, constituído de tubulações de sucção, conjuntos eletromecânicos dispostos em duas elevatórias em paralelo, barrilete, adutora de recalque, sistema de proteção e até um reservatório de carga, que por sua vez se conecta ao subsistema adutor de água tratada composto pela malha hidráulica que aduzem a água até os pontos de chegada nos reservatórios setoriais de distribuição (INEA, 2024).

Caso Tolueno Imunana-Laranjal 2024

O Sistema Imunana-Laranjal teve suas operações interrompidas em abril de 2024 pela Cedae, pois houve a detecção de concentrações de tolueno superiores aos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 do Ministério da Saúde nos resultados do monitoramento, que era realizado a cada hora antes da entrada da água bruta na estação de tratamento de água (CEDAE, 2024). O Instituto Estadual do Ambiente (INEA) foi acionado, resultando na interrupção do abastecimento para evitar que a água contaminada chegasse às residências. Para mitigar os impactos, foram disponibilizados caminhões-pipa a fim de atender hospitais e clínicas de saúde, além de orientações à população sobre o uso consciente da água e a priorização de tarefas não essenciais que demandam elevado consumo. O sistema permaneceu paralisado até que exames pudessem ser realizados pelo Laboratório Biológico de Rastreamento Ambiental indicaram níveis seguros para a saúde humana (CEDAE, *loc.cit.*).

Iniciou-se então, a operação “Águas Claras”, coordenada por uma força-tarefa integrada por agentes de Proteção ao Meio Ambiente e da Delegacia dos Serviços Delegados, com o apoio da Polícia Civil e do Instituto Estadual do Ambiente. Foi realizado o isolamento e sucção do tolueno na área do Sistema Imunana-Laranjal onde foi constatada a poluição do manancial. Também foram construídas barreiras de contenção em outros canais de acesso ao rio, embora essas medidas não tenham sido suficientes para conter toda a quantidade do material contaminante (CEDAE, 2024). Ao longo dessa força-tarefa, algumas empresas que utilizam tolueno em seus processos produtivos foram punidas (CNN, 2024).

Órgãos envolvidos se reuniram com o objetivo foi discutir o impacto da contaminação por tolueno na qualidade da água e no pescado na região leste da Baía de Guanabara. O Instituto Estadual do Ambiente apresentou os resultados das campanhas de monitoramento da qualidade da água realizadas na região e reforçou as atividades desenvolvidas no canteiro de emergência, visando a adoção de medidas para o restabelecimento do abastecimento do Sistema Imunana-Laranjal (CBH, 2024).

Uma nova vistoria de campo na bacia do Guapi-Macacu foi realizada com o objetivo de avaliar a qualidade da água da região 34 dias após a identificação do vazamento de tolueno (figura 4). Durante a ação, foram observados mecanismos de tratamento da água contaminada e medidas de redução dos danos da poluição, como a contenção dos canais de drenagem que se conectam ao rio Guapi-Macacu e o monitoramento da qualidade da água (CBH, 2024).

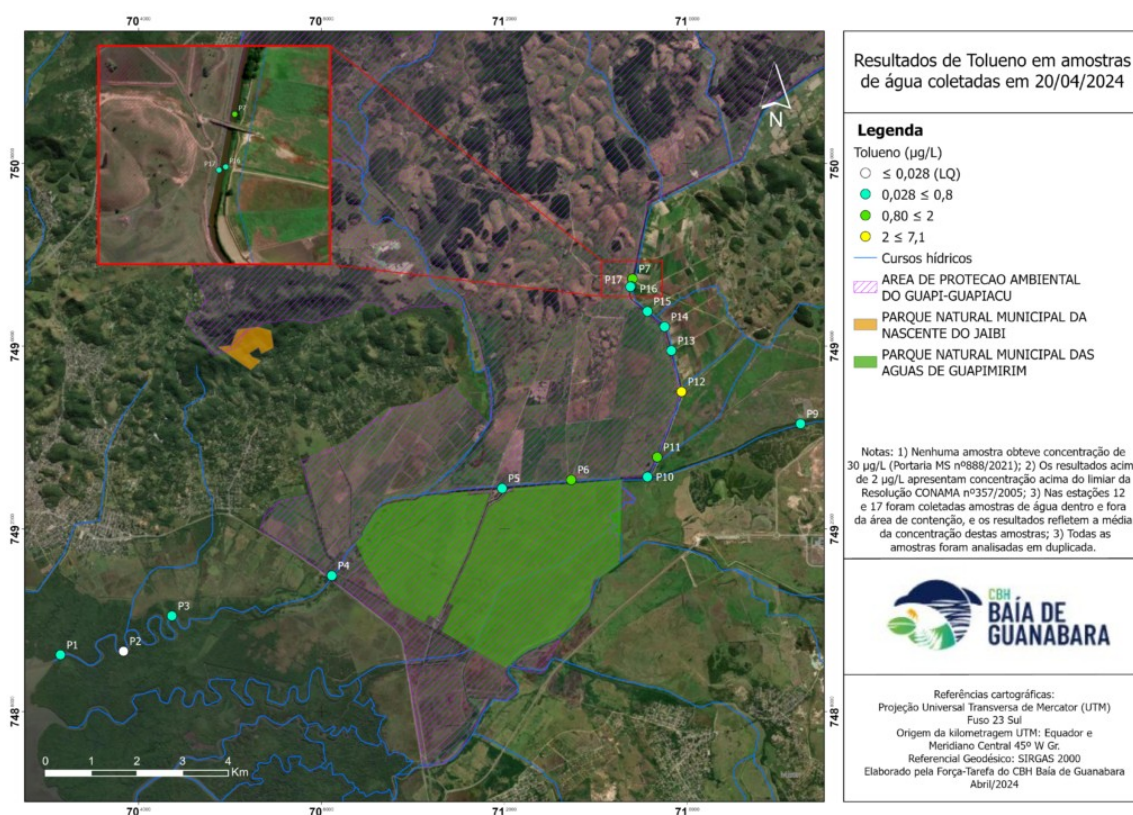


Figura 4. Resultados de Tolueno em amostras de água coletadas em abril de 2024. Fonte: CBH Baía de Guanabara, 2024.

A contaminação do Sistema Imunana-Laranjal por tolueno permanece sob investigação. A paralisação do sistema durante 3 dias afetou aproximadamente 2 milhões de pessoas, residências e estabelecimentos comerciais, além dos custos inerentes às ações de contenção do contaminante e investigação dos possíveis responsáveis.

CONCLUSÃO

Foi constatado que implementar processos e tecnologias de produção mais limpas que visam o uso racional de insumos e matéria-prima e substituição de materiais tóxicos e/ou perigosos por alternativas mais seguras, promovem a redução na fonte. Assim como realizar a separação dos resíduos de acordo com sua classificação e armazenamento, em locais apropriados, protegidos, identificados e com contenção de eventuais vazamentos e utilização de recipientes e embalagens adequadas para cada tipo de resíduo a fim de cumprir as exigências de segregação e armazenamento dos resíduos.

É importante também dar o tratamento adequado, como neutralização, solidificação e incineração, encaminhar os resíduos para aterros sanitários ou industriais licenciados, de acordo com sua classificação, por empresas especializadas e autorizadas para o transporte e destinação final desses resíduos. Manter um rigoroso registro documentado sobre a geração, armazenamento, tratamento e destinação final, bem como a realização de análises periódicas da qualidade dos efluentes e resíduos gerados atende aos critérios de monitoramento e controle (CONAMA nº 430/2011).

A conscientização e capacitação dos colaboradores são fundamentais para o sucesso do gerenciamento de resíduos. Instituições que garantem condições sanitárias e de segurança adequadas, que monitoram e controlam os níveis de exposição a substâncias químicas, garantindo os limites estabelecidos e utilizando ventilação adequada, que realizam manutenção e inspeções regulares dos equipamentos usados no manuseio e tratamento de resíduos líquidos para garantir seu bom funcionamento e segurança, se revelam socioambientalmente mais responsáveis. É importante promover treinamentos que envolvam toda a equipe no processo, buscando a difusão de valores e práticas além do ambiente corporativo/operacional, como também, engajar a comunidade e partes interessadas (ISO 14001:2015).

O caso Tolueno Imunana-Laranjal além de expressar um risco sanitário e ambiental, provocou consequências econômicas e sociais. Portanto, para um descarte seguro e ambientalmente responsável de efluentes industriais, é necessário atender às exigências estabelecidas pela legislação e pelas normas técnicas aplicáveis, além de cumprir com as regulamentações específicas dos órgãos ambientais competentes. Ao adotar essas práticas recomendadas, as empresas e organizações podem minimizar os impactos ambientais, reduzir custos e atender à legislação, contribuindo assim para uma gestão mais sustentável de seus resíduos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Edison Cesar de Faria Nogueira por incentivar o pensamento, a prática e a comunicação científica, a Ingrid Teixeira do Nascimento pela paciência e determinação durante a orientação deste artigo, aos colegas de instituição e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental – especificação e diretrizes para uso**. Rio de Janeiro: ABNT; 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT; 1987.
- AUGUSTO LSC, KULAY LA, FRANCO ES. Audição e exposição ao tolueno - uma contribuição para o tema. **International Archives of Otorhinolaryngology** 16(2), 246-258, 2012.

AWUCHI CG, AWUCHI CG, HANNINGTON TWINOMUHWEZI, IGWE VS, AMAGWULA IO. Industrial Waste Management, Treatment, and Health Issues: Wastewater, Solid, and Electronic Wastes. **European Academic Research Journal**, 8(2), 1120-1136, 2020.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm>. Acesso em: 8 de ago. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 8 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 maio de 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 8 set. 2024.

CBH – Comitê Baía de Guanabara. **Atualização da força-tarefa para acompanhamento da crise no Sistema Imunana-Laranjal**. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/atualizacao-da-forca-tarefa-de-investigacao-sistema-imunana-laranjal/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos. **Monitoramento de Tolueno: Saída de Tratamento**. Disponível em: https://storage.googleapis.com/site-cedae/Qualidade_da_Agua/RelatorioLaranjal/LAUDO%20-%20AT%C3%89%2011-06.pdf. Acesso em: 9 ago. 2024.

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos. Notícias: **Exames laboratoriais vão determinar retorno do sistema Imunana-Laranjal**. Disponível em: <https://cedae.com.br/Noticias/detalhe/exames-laboratoriais-vao-determinar-retorno-do-sistema-imunana-laranjal/id/2999>. Acesso em: 9 ago. 2024.

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos. Notícias: **Força-tarefa do Estado do RJ atua para conter derramamento de poluente no Sistema Imunana-Laranjal**. Disponível em: <https://cedae.com.br/Noticias/detalhe/forca-tarefa-do-estado-do-rj-atua-para-conter-derramamento-de-poluente-no-sistema-imunana-laranjal/id/3000>. Acesso em: 11 ago. 2024.

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos. **Qualidade da água Imunana-Laranjal: Sistema Imunana-Laranjal em plena operação**. Disponível em: <https://cedae.com.br/imunana-laranjal>. Acesso em: 9 ago. 2024.

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos. **Sistema Imunana-Laranjal**. Disponível em: <https://cedae.com.br/sistemaimunanalaranjal>. Acesso em: 9 ago. 2024.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Conheça os Diferentes Tipos de Água**. São Paulo: CETESB; 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/blog/tag/tipos-de-agua/>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Estudo dos compostos orgânicos voláteis (COVs) na atmosfera do município de Paulínia – SP**. São Paulo: CETESB; 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2021/04/Estudo-dos-compostos-organicos-volateis-COVs-na-atmosfera-do-municipio-de-Paulinia-SP.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. **Ficha de Informação Toxicológica: Tolueno**. São Paulo: CETESB; 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2023/12/TOLUENO.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

CNN – Cable News Network Brasil. RJ: força-tarefa tenta descobrir de onde veio produto que poluiu água. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rj-forca-tarefa-tenta-descobrir-de-onde-veio-produto-que-poluiu-agua/>. Acesso em: 11 ago. 2024.

GIORDANO G. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES** 4(76), 1-84, 2004.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. **Sistemas de abastecimento público de água: Imunana – Laranjal**. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/seguranca-hidrica/sistemas-de-abastecimento/imunana-laranjal/>. Acesso em: 9 ago. 2024.

MAGNANTI, AMANDA; AZZOLIN, GABRIELA B.; BORTOLOTO, JOSIANE W.; PARISI, MARIANA M. Acompanhamento longitudinal do hemograma de indivíduos trabalhadores de indústria metalmeccânica. **Revista Saúde (Sta. Maria)** 46 (2), 2020.

MEDEIROS DAO. **Avaliação de riscos à saúde humana por compostos orgânicos voláteis em um posto de combustível utilizando metodologia de cálculo das planilhas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)** [trabalho de conclusão de curso]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2022.

RIO DE JANEIRO. Prefeitura de São Gonçalo. **Lei nº 16/2001** – Dispões Sobre a Política Ambiental do Município de São Gonçalo. São Gonçalo: Prefeitura Municipal; 2001. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rj/s/sao-goncalo/lei-ordinaria/2001/2/16/lei-ordinaria-n-16-2001-dispoe-sobre-a-politica-ambiental-do-municipio-de-sao-goncalo>>. Acesso em: 11 ago. 2024.

TOLÊDO CSS, BARROS SRS. Tratamento de efluentes industriais: uma revisão de fundamentos e aplicações. **Congresso Nacional de Excelência em Gestão – CNEG**; Rio de Janeiro, Brasil. Rio de Janeiro: CNEG; 2022.

XAVIER MFB. **Avaliação da adequação dos valores numéricos definidos nas tabelas da Resolução 357/05 do CONAMA do ponto de vista técnico e científico, para garantir a preservação dos ecossistemas**. [dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2020. 70 p.