



Instituto Federal Catarinense
Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente
CampusAraquari

Vinicius Jacques da Silva

**Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de micro-ondas para secagem de lodo
de Estação de Tratamento de Água**

Araquari

2024

Vinicius Jacques da Silva

**Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de micro-ondas para secagem de lodo
de Estação de Tratamento de Água**

Dissertação, submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense – *Campus Araquari* para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia em Ambiente.

Orientador: Prof. Claudemir M. Radetski,
Doutor em Toxicologia Ambiental

Coorientadora: Prof.^a Cristiane V. Tagliari,
Doutora em Engenharia Química

Coorientador: Felipe Antônio Cassini, Mestre
em Química

Araquari

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática do ICMC/USP, cedido ao IFC e
adaptado pela CTI - Araquari e pelas bibliotecas do Campus de Araquari e Concórdia.

d111a da Silva, Vinicius Jacques da Silva
Análise de viabilidade técnica e econômica do uso
de micro-ondas para secagem de lodo de Estação de
Tratamento de Água / Vinicius Jacques da Silva da
Silva; orientador Claudemir Marcos Radetski;
coorientadora Cristiane Vanessa Tagliari;
coorientador Felipe Antônio Cassini. -- Araquari, 2024.
76 p.

Dissertação (mestrado) - Instituto Federal
Catarinense, campus Araquari, , Araquari, 2024.

Inclui referências.

1. secagem. 2. resíduos sólidos. 3. micro-ondas. 4.
tratamento de água. 5. lodo. I. Radetski, Claudemir
Marcos , II. Tagliari, Cristiane Vanessa . III.
Cassini, Felipe Antônio. IV. Instituto Federal
Catarinense. . V. Título.

Vinicius Jacques da Silva

**Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de micro-ondas para secagem de lodo
de Estação de Tratamento de Água**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Ambiente e aprovada em sua forma final pelo curso de Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense – *Campus Araquari*.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudemir Marcos Radetski,
Doutor em Toxicologia Ambiental pela Universidade de Metz (França)
Orientador – IFC *campus* Araquari

Prof. Dr. Cléder Alexandre Somensi
Doutor em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade do Vale do Itajaí
IFC *campus* Araquari

Dr^a. Bianca Coelho Machado
Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina
Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN)

Araquari

2024



DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS - CAMPUS ARAQUARI Nº 1/2024 - CCPGTA (11.01.02.31)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 03/04/2024 19:16)

FABRÍCIO MOREIRA SOBREIRA
PROFESSOR ENS BÁSICO TECNOLÓGICO
CGES/ARA (11.01.02.39)
Matrícula: ###774#6

(Assinado digitalmente em 03/04/2024 15:05)

CLAUDEMIR MARCOS RADETSKI
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.379-##

Visualize o documento original em <https://sig.ifc.edu.br/documentos/> informando seu número: **1**, ano: **2024**, tipo: **DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS - CAMPUS ARAQUARI**, data de emissão: **03/04/2024** e o código de verificação: **5fe81d071c**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer à Deus pelo dom da ciência, que possibilita a investigação e entendimento do universo. Agradeço à minha família por todo apoio e compreensão, durante a árdua jornada. Sem dúvidas, vocês são a base que sustentam e dão o impulso aos voos que almejo, e dão a certeza que independente do desafio, nunca faltará apoio, e nos momentos de alegria nunca faltarão comemorações.

Agradeço à minha digníssima Verônica, por jamais desacreditar da minha capacidade. Mesmo nas situações onde a dúvida nas habilidades e conhecimentos apareciam, você nunca deixou de confiar que era possível. Obrigado pela parceria, durante esses anos.

Agradeço ao professor e orientador Claudemir, pelas direções que me indicaram os caminhos que deveriam ser percorridos, garantindo que o foco não fosse desviado dos objetivos. Sempre seguindo em frente, e na luta! Além disso, agradeço à professora Cristiane pela ajuda com as definições de metodologia de ecotoxicidade e ao professor Renan, pelo apoio com a utilização dos equipamentos de análise de gases.

Aos amigos Felipe, Fernanda, Leidiane e Edson, pela parceria e pela ajuda com a execução dos experimentos e pela ajuda com os equipamentos e materiais utilizados nos ensaios de secagem.

Aos colegas Joabe e Francieli, que dividiram não só os percursos até o IFC, mas suas experiências e conhecimento ao longo das aulas e da jornada acadêmica.

Agradeço à CASAN pela oportunidade de conciliar o trabalho com a continuidade da formação, permitindo afastamentos para as aulas, fornecendo as amostras de lodo de ETA utilizadas neste trabalho, bem como, os resultados de classificação do resíduo, disponibilizada.

Agradeço, por fim, aos colegas e demais amigos que me acompanharam durante a jornada e que mesmo não mencionados aqui, me ajudaram na caminhada seja no trabalho, no dia-a-dia ou na jornada acadêmica.

Muito Obrigado!

**“Nunca se renda, exceto às convicções de honra e bom senso.”
Winston Churchill, 1943**

RESUMO

A produção de água potável é uma atividade de relevante importância para garantia da saúde da população e desenvolvimento econômico. Vista a essencialidade desse serviço, é inevitável dar-se atenção a um dos resíduos inerentes ao processo de tratamento de água conhecido como lodo. Sob essa ótica, o presente trabalho visou caracterizar o lodo de tratamento de água e avaliou-se a viabilidade técnica e financeira da utilização de micro-ondas para secagem do resíduo, comparando o gasto energético necessário para evaporação de água em relação ao custo da disposição final do material em aterro sanitário, destino mais comum de tal material. Além disso, visando a compreensão adequada dos possíveis impactos ambientais do processo de secagem por micro-ondas, avaliou-se ainda as emissões de gases ocorridas durante o processo de secagem, bem como, alterações na toxicidade do material após a submissão do mesmo ao processo de secagem. A caracterização do material mostrou que sua composição de sólidos predominante não é volátil e que a classificação sob a ótica da ABNT 10004 resulta em um resíduo sólido não-perigoso e não-inerte. A viabilidade técnica foi avaliada através de um arranjo de composto central com três fatores: potência, tempo e massa inicial de lodo, onde foram constatadas as correlações estatísticas para os fatores, suas combinações e seus quadrados, bem como, foi construído um modelo matemático da superfície de resposta, para determinação do ponto máxima remoção de água por kWh consumido. Foi observado que o sistema tecnicamente é viável para execução da redução de massa, onde se conseguiu até 44% do aproveitamento da energia consumida para evaporação da água. Em termos financeiros, constatou-se a necessidade de adição de tecnologias de geração de energia, para viabilizar a aplicação de secagem de micro-ondas, visto que o custo da energia ainda é superior ao preço de disposição do material em aterro sanitário. Por fim, em termos ambientais, observou-se que o solubilizado do lodo apresentou redução significativa do fator de toxicidade, comparando-se o resultado antes e depois da submissão do mesmo à secagem por micro-ondas. Além disso, em termos de emissões gasosas, foi constatado que ao realizar-se um controle adequado do tempo de secagem, é possível manter a qualidade do ar dentro dos padrões determinados pela Organização Mundial da Saúde. Definitivamente, em relação aos parâmetros ambientais observados, a secagem por micro-ondas é viável e se associado com uma fonte de energia alternativa (e.g., fotovoltaica), o processo de secagem de lodo por microondas também se torna economicamente viável.

Palavras-chave: Potabilização da água; Secagem de lodo; Micro-ondas; Emissões gasosas; Ecotoxicidade.

ABSTRACT

The production of drinking water is an activity of relevant importance for ensuring the health of the population and economic development. Given the essentiality of this service, it is inevitable to pay attention to one of the residues inherent to the water treatment process known as sludge. From this perspective, the present work aimed to characterize the water treatment sludge and to evaluate the technical and financial feasibility of using microwaves to dry the residue, comparing the energy expenditure required for water evaporation in relation to the cost of final disposal of the material in landfill, the most common destination of such material. Furthermore, aiming to adequately understand the possible environmental impacts of the microwave drying process, gas emissions occurring during the drying process were also evaluated, as well as changes in the toxicity of the material after subjecting it to the drying process. The characterization of the material showed that its predominant solid composition is non-volatile and that the classification from the perspective of ABNT 10004 results in a non-hazardous and non-inert solid waste. The technical feasibility was evaluated through a central compound arrangement with three factors: power, time and initial mass of sludge, where statistical correlations for the factors, their combinations and their squares were verified, as well as a mathematical model of the response surface, to determine the maximum water removal point per kWh consumed. It was observed that the system is technically viable for carrying out mass reduction, where up to 44% of the energy consumed for water evaporation was achieved. In financial terms, there was a need to add energy generation technologies to enable the application of microwave drying, as the cost of energy is still higher than the price of disposing of the material in a landfill. In environmental terms, it was observed that extract of solubilized sludge presented a significant reduction in the toxicity factor, comparing the results before and after subjecting it to microwave drying. Furthermore, in terms of gaseous emissions, it was found that by carrying out adequate control of the drying time, it is possible to maintain air quality within the standards determined by the World Health Organization. Definitely, in relation to the environmental parameters observed, microwave drying is viable drying process and if associated with an alternative energy source (e.g., photovoltaic), this drying technology also becomes economically viable.

Keywords: Water potability; Sludge drying; Microwave; Gaseous emissions; Ecotoxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Destinação de lodo de ETA	20
Figura 2. Classificação dos tipos de umidade em material sólido.....	22
Figura 3. Variação da taxa de secagem de acordo com o tempo.....	23
Figura 4. Fluxograma do sistema de desaguamento de lodo de lodo da ETA Barra Velha-SC	28
Figura 5. Amostra de lodo coletada na ETA de Barra Velha, após desaguamento por prensa parafuso.	29
Figura 6. Classificação de resíduos sólidos.....	31
Figura 7. Micro-ondas com exaustor adaptado no topo, utilizado para os ensaios de secagem	33
Figura 8. Equipamentos de (a) medição de consumo de energia e (b) aferição das variações de massa.....	33
Figura 9. Teste de normalidade realizado nos resíduos.....	42
Figura 10. Variação das respostas médias em relação às variáveis independentes....	45
Figura 11. Resultados de gráficos de contorno.	45
Figura 12. Valores de eficiência para os resultados experimentais.....	48
Figura 13 Análise de viabilidade econômica entre custo de disposição de lodo o do lodo e custo do kWh para secagem.	50
Figura 14 Resultado de emissões particuladas com diâmetro aerodinâmico equivalente menor ou igual a 2,5 micrômetros e 10 micrômetros.....	54
Figura 15 Resultados de emissão de gás carbônico e monóxido de carbono durante o processo de secagem.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Planejamento experimental dos ensaios de secagem de lodo por MO.....	32
Tabela 2. Resultado das análises de sólidos do lodo.....	39
Tabela 3. Resultados de análise do solubilizado do lodo.....	40
Tabela 4. Planejamento experimental executado com resposta e resultados obtidos	41
Tabela 5. Resultados de análise de variância dos experimentos realizados.....	43
Tabela 6. Resultados do ponto de máximo encontrado no modelo.....	46
Tabela 7. Resultados de fator de diluição (FD) e CE50 para análises de solubilizado do lodo antes e após o processo de secagem por micro-ondas e os limites determinados por FATMA (2002).	52
Tabela 8. Estatística descritiva dos resultados de emissões observados durante o processo de secagem.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

c_s calor específico da água

$\text{Custo}_{\text{kWh}}$ custo de equilíbrio do kWh

$\text{Custo}_{\text{kWh solar}}$ custo de produção do kWh através de energia fotovoltaica

$\text{Custo}_{\text{lodo}}$ valor total gasto para transporte e disposição final do lodo

$\text{Custo}_{\text{m}^2\text{solar}}$ custo de instalação e manutenção de sistema fotovoltaico por m^2

$E_{\text{consumida}}$ consumo energético

$E_{\text{consumida}}^*$ consumo energético no melhor cenário de eficiência

E_{Evap} razão entre a massa evaporada e a energia consumida

E_{evap}^* razão entre a massa evaporada e a energia consumida no cenário de maior eficiência

ETA Estação de Tratamento de Água

Evap_{Max} máxima quantidade teórica de água que pode ser evaporada

h_{evap} calor latente da água 2.250 kJ.kg^{-1}

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

M_{evap} massa evaporada

M_{final} massa de lodo final

M_{inicial} massa de lodo medida inicial

M_{inicial} massa de lodo medida inicial no melhor cenário de eficiência

MO Micro-ondas

ONU Organização das Nações Unidas

P_{lodo} Produção diária de lodo de ETA desaguado

P_{solar} Produção de kWh por m^2 de área do sistema fotovoltaico

ΔT variação de temperatura

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	objetivos específicos.....	16
3	JUSTIFICATIVA	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
5	MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1	Origem de lodo	28
5.2	Caracterização do Lodo:	29
5.2.1	Análise de sólidos	29
5.2.1	Classificação do lodo pela Norma ABNT NBR 10004/2004	30
5.3	Ensaio de Secagem:.....	30
5.4	Análises Estatísticas	34
5.5	Análise de Eficiência	34
5.6	Análise de Viabilidade.....	35
5.7	Análises Ambientais:.....	37
5.7.1	Ecotoxicidade solubilizado do Lodo	37
5.7.2	Emissão de Gases	38
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.1	Resultados de caracterização do Lodo	38
6.1.1	Resultados de Análise do Sólidos.....	38
6.1.2	Resultados de classificação do lodo	39
6.2	Resultado dos Ensaio de secagem:	40

6.3	Análises estatísticas	41
6.3.1	Análise de Normalidade	41
6.3.2	Regressão da superfície de Resposta	42
6.3.3	Análise de Eficiência	47
6.3.4	Análise de Viabilidade.....	48
6.4	Análises Ambientais.....	51
6.4.1	Análise Ecotoxicológica do Solubilizado do lodo.....	51
6.4.2	Análise da emissão de gases.....	53
7	CONCLUSÃO	57
8	REFERÊNCIAS	59
	ANEXOS	65
	Anexo 1 Resultados de Classificação do resíduo sólidos.....	65
	Anexo 2 - Resultados de Ecotoxicidade do solubilizado do lodo – Antes do processo de secagem.....	79
	Anexo 3 - Resultados de Ecotoxicidade do solubilizado do lodo – APÓS o processo de secagem.....	84

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Em 2015, a Organização das Nações Unidas traçou Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), buscando encorajar ações de grande importância para a humanidade e o planeta num período de 15 anos.

Dentro da agenda proposta, os objetivos foram divididos entre 17 categorias, englobando assuntos como: erradicação da pobreza, educação de qualidade e água potável e saneamento. Neste último, a ONU tem como uma de suas metas, que até 2030, exista a disponibilização universal de água potável segura e financeiramente acessível à população mundial (ONU, 2015).

É notório que o acesso à água potável é um fator fundamental na melhoria na saúde pública, bem como, para a minimização das desigualdades sociais e desenvolvimento econômico, ao passo que cada vez mais a demanda por água potável vem crescendo no cenário mundial (UNESCO, 2019).

Para a disponibilização de água potável para a população, é necessário que a água obtida na natureza passe por processos que sejam capazes de realizar a clarificação e a desinfecção do líquido, visando garantir a segurança de consumo. Comumente, tal processo é realizado através de Estações de Tratamento de Água (ETA), onde, a depender da qualidade da água do manancial de captação, as etapas de tratamento podem ser distintas variando desde processos físico-químicos simples à processos avançados (RICHTER; NETTO, 1991).

Contudo, nestes processos geralmente há produção de lodo, principalmente nas etapas de floculação e decantação que são etapas fundamentais na clarificação da água bruta. Com isto, há a necessidade de se destinar este lodo que é constituído essencialmente de água, o que se faz dispondo o mesmo em aterros sanitários após o desague/secagem do mesmo, pois quanto mais seco, menor o volume/massa a ser destinado ao aterro.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo é analisar a viabilidade técnica, financeira e ambiental da secagem de lodo de ETA através da utilização de micro-ondas (MO) em escala de bancada, avaliando o consumo de energia e umidade eliminada, comparando o

custo do processo de secagem em relação à economia gerada com o transporte e disposição deste material seco em aterro sanitário.

Visando ainda analisar possíveis impactos ambientais causados pelo processo de secagem, pretende-se realizar a análise dos gases emitidos durante o processo de secagem, bem como, avaliar se existe diferença na toxicidade observada no solubilizado do lodo úmido e do lodo seco.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aplicar micro-ondas na secagem de lodo de ETA desaguado mecanicamente para avaliar a viabilidade técnica e econômica e os possíveis impactos ambientais causados por este processo de secagem.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o lodo obtido avaliando-se a composição de sólidos totais, fixos e voláteis, bem como, a classificação do lodo quanto ao tipo de resíduo sólido conforme determina a ABNT;
- Avaliar a eficiência de MO na secagem, de acordo com a variação de potência do equipamento, massa inicial de lodo desaguado aplicada e tempo de secagem, determinando se existem correlações estatísticas das variáveis independentes, suas combinações de segundo grau e termos quadráticos;
- Quantificar a energia consumida em função da quantidade de energia teórica necessária para evaporação da água, bem como, determinar as variações de taxa de secagem;
- Avaliar a viabilidade ambiental em termos de emissões gasosas de CO₂, CO, SO₂ e NO₂ e materiais particulados (10 e 2,5 µm) ocorridas durante o processo de secagem de lodo, além da possível mudança de toxicidade antes e depois do processo de secagem por micro-ondas usando bactérias como organismo-teste;
- Analisar se a secagem de lodo por micro-ondas apresenta viabilidade econômica de acordo no cenário de maior eficiência em relação à massa inicial, potência e tempo de secagem, observando-se a economia gerada pela redução de disposição final de lodo.

3. JUSTIFICATIVA

Com a análise proposta, é possível analisar se existe viabilidade técnica, financeira e ambiental de sistemas de secagem de micro-ondas para secagem de lodo de ETA em escala de bancada, ou seja, se é uma solução de engenharia que tem potencial para auxiliar os prestadores de serviço de abastecimento de água, na destinação adequada de resíduos do tratamento de água.

Visto o passivo que existe no país como um todo relativo ao lodo de ETA, a procura de soluções economicamente factíveis é imprescindível para manutenção da viabilidade da prestação do serviço de abastecimento de água, o qual é um serviço essencial para garantia da saúde da população, haja vista que o acesso à água potável considerado um direito humano pela Organização das Nações Unidas.

Ademais, a destinação correta de resíduos de tratamento de água é um fator importante, em termos de proteção ao meio-ambiente, evitando impactos ambientais indesejados que possam prejudicar a fauna e flora local. Dessa forma, o estudo de alternativas para tratamento de lodo visa também a mitigação dos impactos ambientais, através de sistemas economicamente atrativos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 2015, a Organização das Nações Unidas traçou Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), buscando encorajar ações de grande importância para a humanidade e o planeta num período de 15 anos. Dentro da agenda proposta, os objetivos foram divididos entre 17 categorias, englobando assuntos como: erradicação da pobreza, educação de qualidade e água potável e saneamento. Neste último, a ONU tem como uma de suas metas, que até 2030, exista a disponibilização universal de água potável segura e financeiramente acessível à população mundial (ONU, 2015).

É notório que o acesso à água potável é um fator fundamental na melhoria na saúde pública, bem como, para a minimização das desigualdades sociais e desenvolvimento econômico, ao passo que cada vez mais a demanda por água potável vem crescendo no cenário mundial (UNESCO, 2019). Ou seja, o tratamento de água para consumo humano,

realizado em Estações de Tratamento de Água (ETA) é um fator essencial para a saúde pública, desenvolvimento socioeconômico e qualidade de vida da população de maneira geral, sendo reconhecido como uma necessidade para manutenção da vida (EVERARD, 2019; LECHEVALLIER; AU, 2013).

Para a disponibilização de água potável para a população, é necessário que a água obtida na natureza, passe por processos que sejam capazes de realizar a clarificação e a desinfecção do líquido, visando garantir a segurança de consumo. Comumente, tal processo é realizado numa ETA, onde, a depender da qualidade da água do manancial de captação, as etapas de tratamento podem ser distintas indo desde processos físico-químicos simples à processos avançados (RICHTER; NETTO, 1991).

Destaca-se, entretanto, que a maneira mais comum de se realizar a potabilização da água é através de tratamento convencional, tipificado pelas operações unitárias de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (USEPA, 2000).

A coagulação é um processo físico-químico que consiste na adição de agentes coagulantes, normalmente sais férricos ou de alumínio, para causar a desestabilização e agregação dos colóides presentes na água captada do manancial (RICHTER, 2009). Em seguida, o processo de floculação, consiste na agregação das partículas coaguladas, através de choques causados através da agitação da massa líquida (RICHTER; NETTO, 1991).

Na etapa de sedimentação, os flocos formados passam por uma separação sólido-líquido por ação da gravidade, onde os flocos descem para o fundo da unidade formando o lodo, ao passo que a água é clarificada (FILHO; MIERZWA, 2019).

Assim, é inerente a este processo que os sólidos separados, principalmente na etapa de decantação, gerem um resíduo. Este subproduto é conhecido como lodo de ETA (AMÂNCIO et al., 2017). A água, sem a presença maciça de material particulado em suspensão então passa pela etapa de filtração, normalmente composta por camadas de areia e carvão antracito, que faz o polimento final da água, removendo pequenas partículas que não foram retidas na etapa anterior (USEPA, 2000).

Por fim, é realizada a desinfecção que é a etapa em que acontece a inativação de microrganismos(incluindo os patógenos) através da ação de agentes físicos ou químicos, onde o cloro e seus derivados são os produtos mais aplicados (DANIEL, 2011).

Em resumo, a ETA tem duas funções gerais, a clarificação e a desinfecção da água para consumo. O lodo, sub-produto da clarificação, é composto por sujidades provenientes da própria água captada que traz consigo materiais como: partículas orgânicas húmicas e partículas inorgânicos (e.g. areia e argila), bem como, hidróxidos metálicos oriundos da adição de produtos químicos coagulantes (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2016; DUBE et al., 2018; GERVASONI, 2014; SISWOYO; MIHARA; TANAKA, 2014).

Dada a necessidade de produção diária de água para a população, é necessário, conseqüentemente, que seja observado o destino adequado do resíduo do tratamento diariamente produzido, isto é, deve-se destinar corretamente o lodo gerado na ETA.

Em países em desenvolvimento, todavia, ainda existe pouca aplicação de reuso desse material. No Brasil especificamente, as leis concernentes à disposição desse subproduto são bastante rigorosas, muito embora, ainda se observa em muitos casos, a devolução do lodo ao corpo hídrico (AGRA et al., 2023).

Considerando-se que boa parte das ETAs brasileiras foi concebida numa época em que não se considerava o impacto/destinação do lodo gerado, existe no país um grande passivo em relação ao mesmo, sendo ainda prática comum a devolução do lodo ao manancial (LACERDA et al., 2014).

Segundo levantamento de IBGE (2020), no Brasil, a destinação de lodo de ETA ainda é bastante precária, conforme pode ser observado na Figura 1. Cerca de 64% das ETAs destinam o lodo de maneira inadequada com destaque ao retorno do lodo ao corpo hídrico, que representa cerca de 80% deste grupo.

Sabendo-se que o resíduo em questão, quando devolvido diretamente no corpo hídrico, pode causar impactos ambientais expressivos, como toxicidade à biota, diminuição da atividade fotossintética e assoreamento, o assunto em questão possuiu alta relevância, sendo cada vez mais notável a preocupação com a destinação final deste resíduo (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2016; AMÂNCIO et al., 2017; LACERDA et al., 2014; SMIDERLE, 2016).

Especificamente em Santa Catarina, o Decreto Estadual nº 1846 de dezembro de 2018 (SANTA CATARINA, 2018) trouxe novas regulamentações no assunto, exigindo, por exemplo, que todos os novos projetos de estações de Tratamento de Água contemplem o descarte do

resíduo, o que demonstra que a problemática da destinação de resíduos de ETA é um assunto importante e hodierno.

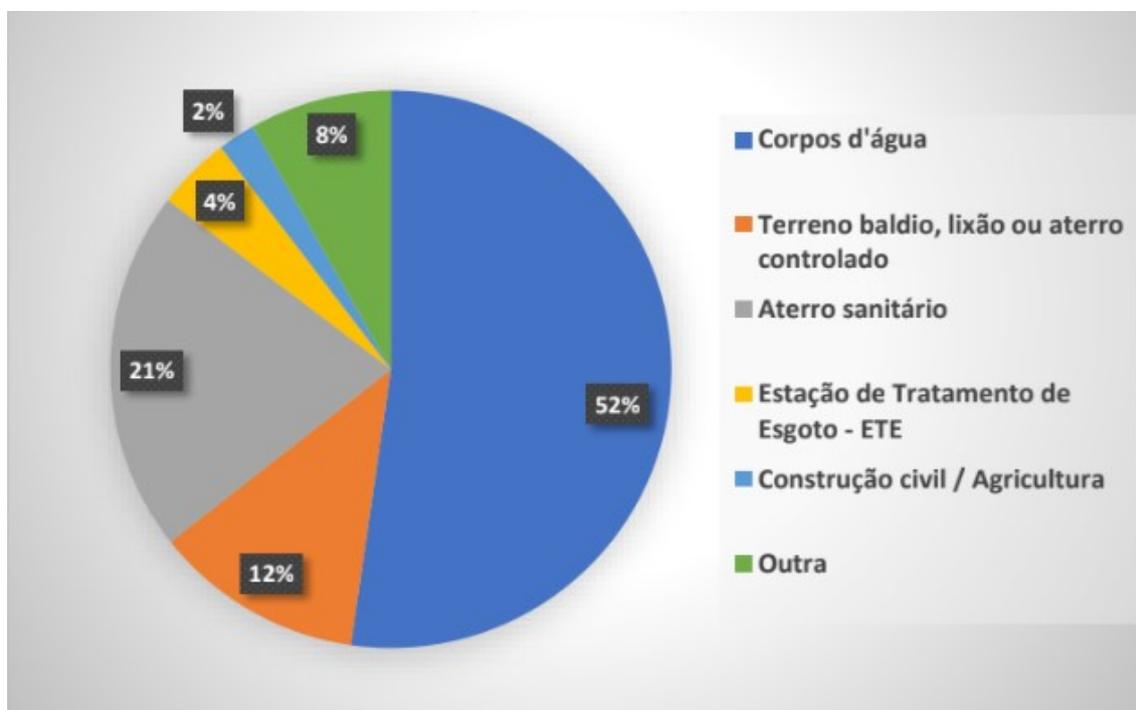


Figura 1. Destinação de lodo de ETA
Fonte Adaptado de (IBGE, 2020)

Dentre as possíveis alternativas para destinação ambientalmente correta de lodo de ETA, a disposição em aterro sanitário apresenta considerável notoriedade, sendo uma das soluções mais aplicadas em todo o mundo (DUBE et al., 2018; TURNER et al., 2019).

Conforme consta na Figura 1, observa-se que o envio para aterro sanitário se mostra como a destinação correta mais aplicada, representando mais da metade das soluções adequadas. Há de ser observado, entretanto, que o envio de lodo para aterro sanitário é uma alternativa financeiramente onerosa (AGRA et al., 2023), por isso, para viabilizar a destinação de lodo aos aterros, é necessário reduzir a quantidade de água presente no mesmo, sendo aplicado comumente o desague mecânico, através de prensas parafusos, centrifugas entre outros (OLIVEIRA, 2010).

Com tal redução é possível diminuir os custos de transporte até o aterro, que é normalmente realizado por via terrestre, assim como diminuir o volume de disposição final (LIU et al., 2016). Deve-se salientar que os aterros faturam os resíduos depositados em

função da periculosidade e da massa a ser depositado, não eximindo o depositário de ser corresponsável pelo passivo ambiental (NEHLS, 2012).

Os equipamentos de desaguamento mecânico, capazes de fornecer concentrações de até 30% de teor de sólidos (OLIVEIRA, 2010). Ou seja, mesmo que a etapa de desaguamento seja muito bem executada, 70% do material transportado ainda é constituído por água. Para a obtenção de concentrações de sólidos acima do valor anteriormente mencionado, faz-se necessária aplicação de processos de secagem (KOCBEK et al., 2020).

Os processos de secagem podem reduzir os teores de umidade a concentrações de menos de 10%, o que, em consequência, reduz drasticamente o volume e massa do material a ser destinado, barateando o transporte e disposição final (CHEN; AFZAL; SALEMA, 2014; KOCBEK et al., 2022). Segundo GUO, ZHENG & LI (2021), apesar da capacidade dos processos de secagem atingir altos valores de sólidos, o alto gasto energético para este intento ainda impõe barreiras para sua aplicação.

A secagem é uma operação unitária de transferência de calor e massa em que o teor de umidade é reduzido através da aplicação de uma fonte de calor onde, por conseguinte, a massa inicial do material é reduzida. Este processo é largamente utilizado na indústria e alvo de variados estudos de otimização, visto que requisita quantidades significativas de energia para ser realizado (MARTINS et al., 2020).

Um processo de secagem de lodo não ocorre de maneira uniforme, onde os tipos de umidade interferem na velocidade de remoção de água (PARK; YADO; BROD, 2001). A umidade pode se apresentar no lodo como umidade livre, ou seja, água que não está ligada às partículas sólidas, como umidade intersticial, que é a água enclausurada entre as partículas sólidas, umidade de superfície que está ligada à superfície dos sólidos por adesão ou adsorção física e, por fim, umidade intracelular que é quimicamente ligada aos sólidos (TSANG; VESILIND, 1990).

A Figura 2, mostra uma representação da classificação da umidade, conforme acima descrito. Em termos de eliminação de umidade, processos mecânicos são capazes de eliminar principalmente os dois primeiros tipos de umidade (VESILIND, 1994). Tal fato, explica a razão pela qual sistemas de desaguamento mecânicos anteriormente mencionados são incapazes de produzir resultados com alta concentração de sólidos. Já, os processos de

secagem são capazes de remover todos os tipos de umidade, com exceção da água quimicamente ligada.

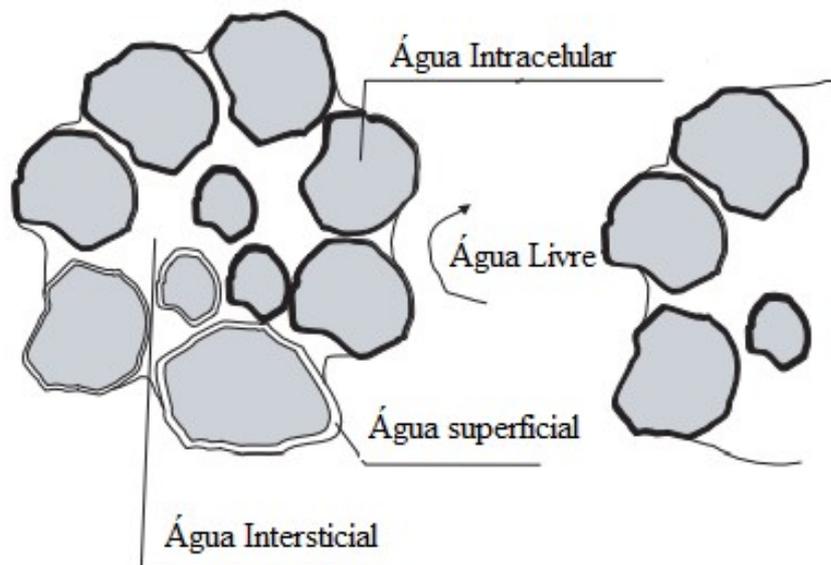


Figura 2. Classificação dos tipos de umidade em material sólido
Fonte: Adaptado de CHEN; YUE & MUJUMDAR, (2002).

Em termos de velocidade de remoção de água, conforme pode ser observado na Figura 3, no início do processo a umidade livre é eliminada em uma taxa de remoção alta e constante. Finalizada a retirada de umidade livre, observa-se uma desaceleração da taxa de secagem que ocorre durante a eliminação de umidade intersticial.

Por fim, o decaimento na taxa acentua-se, ao passo que é removida a umidade superficial do material processado (CHEN; YUE; MUJUMDAR, 2002; VESILIND, 1994). Em resumo, após a eliminação da água livre, à medida que o processo de secagem continua, fica cada vez mais onerosa, em termos de energia, a remoção da água.

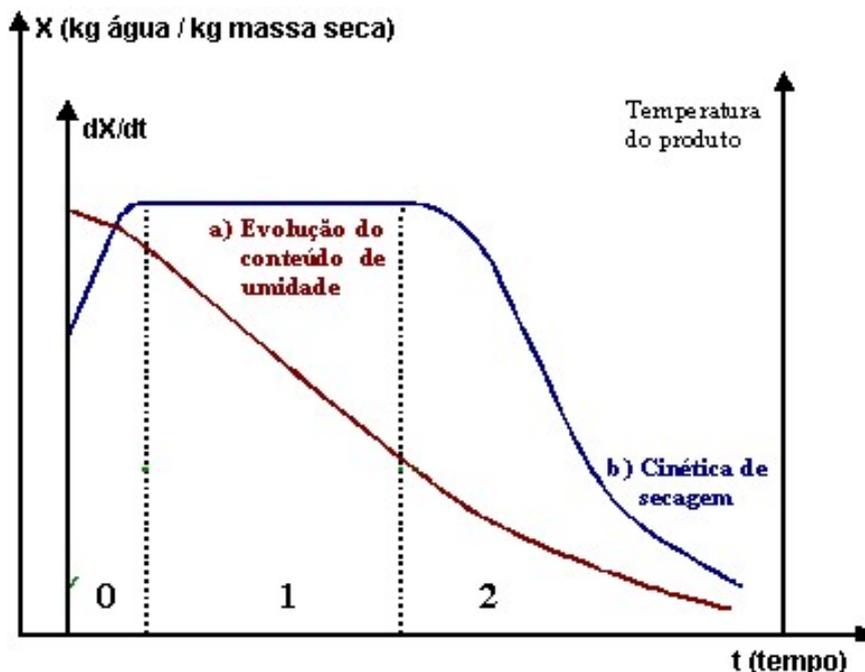


Figura 3. Variação da taxa de secagem de acordo com o tempo
 Fonte: Adaptado de PARK; YADO & BROD, (2001).

Existe uma série de métodos distintos de secagem podendo os equipamentos utilizar princípios de secagem natural ou artificial. No primeiro, não há aplicação direta de energia, sendo a força motriz do processo o vento e energia solar. Esse tipo de processo tem a vantagem de apresentar baixo custo, entretanto, tende a ser mais oneroso em termos de mão de obra e ser mais sensível às condições climáticas (GARCIA et al., 2004).

Já os processos de secagem artificial, contam com a aplicação de uma fonte de energia que acelera a remoção de umidade, o que permite maior controle do processo, ao passo que gera aumento de custo (ZONTA et al., 2011).

Uma das formas de realizar a aplicação de energia elétrica para secagem de materiais é por intermédio de Micro-ondas (MO). A energia das micro-ondas é caracterizada por comprimentos de ondas de 10 cm à 1 mm, englobando uma faixa de frequência de 3 a 300 GHz no espectro eletromagnético, sendo o mais comum para aplicações de secagem a frequência de 2,45 GHz (POZAR, 2011).

A conversão da energia das MO em calor dá-se pela interação entre o dipolo de uma molécula com a onda eletromagnética, onde à medida que se varia a exposição à onda, ocorrem orientações seguidas de desalinhamentos das moléculas, que causam a absorção

de energia e dissipação em forma de calor (BARBOZA et al., 2001). A capacidade de aquecimento por MO varia de acordo com as características do equipamento e com as propriedades dielétricas do material, que são afetadas por características como: composição, temperatura e umidade, fatores estes que podem variar ao longo do processo de secagem (MUJUMDAR, 2006).

Em termos da influência da umidade, existe correlação direta entre esta e a constante dielétrica do material, onde quanto maior for a umidade do material, maior é sua constante dielétrica. À medida que a umidade é removida durante o processo de secagem, a constante é reduzida, o que diminui a capacidade do material de absorver energia (PEREIRA, 2013).

Esse efeito é explicado pela maior dificuldade de movimentação da água superficial e intersticial em relação à água livre presente na massa do lodo. A partir da redução da água livre, se torna mais difícil movimentar o dipolo das moléculas de água nas outras formas de umidade, visto que existe menos liberdade para movimentação.

A investigação do aquecimento através de micro-ondas (MO) vem tomando cada vez mais destaque na secagem de lodos (RADOIU & MELLO, 2022). Em comparação aos processos térmicos convencionais, características como: menor impacto de condições climáticas, segurança, velocidade de secagem e consumos de energia similares ou melhores, trazem atratividade para exploração do potencial de aplicação da técnica (GUO; ZHENG; LI, 2021).

Assim, DOMÍNGUEZ et al. (2004), estudaram a secagem de quatro tipos de lodo de tratamento de efluentes (três de esgoto doméstico e um de laticínios), por micro-ondas, comparando os resultados de eficiência de secagem por forno de convecção forçada.

Estes autores verificaram que o tempo de secagem por MO foi até 11 vezes mais rápido que o método térmico, bem como, a eficiência energética em relação à energia teórica de evaporação ficou acima de 40% para MO enquanto o forno ofereceu resultados levemente acima de 20%. Os resultados mostraram ainda uma redução do volume inicial de lodo de 75% à 89%. Outrossim, foi observado um aumento na eficiência energética, quando o experimento foi realizado com maiores quantidades de lodo.

Já, CHEN, AFZAL & SALEMA (2014), realizaram estudo de secagem de lodo de esgoto sanitário mecanicamente desaguado por MO, avaliando a velocidade de secagem em

função da massa da amostra e a potência do equipamento. Os resultados demonstraram que a velocidade de secagem é positivamente impactada pela potência do equipamento, ou seja, maiores potências realizam a eliminação de umidade de maneira mais acelerada. Já em relação à massa, o estudo demonstrou que a velocidade de secagem é reduzida com o aumento da massa de amostra, sendo um fator importante no tempo de secagem, observando ainda que o decréscimo na quantidade de umidade reduz a absorção de MO, causando a redução da taxa de secagem.

Com metodologia similar, BENNAMOUN, CHEN & AFZAL (2016) estudaram a secagem de lodo por MO avaliando a velocidade e a redução volumétrica do lodo ao longo do processo.

Os resultados corroboraram com os resultados de CHEN, AFZAL & SALEMA (2014) quanto ao comportamento da velocidade de secagem em relação à massa inicial de lodo e potência, e com os resultados de DOMINGUEZ et al. (2004) quanto ao tempo de secagem, em termos de redução de horas secagem, para minutos, ao substituir-se métodos de secagem térmicos por secagem por MO. Os autores encontraram ainda, que o volume inicial de lodo foi diminuído em até 42% após o processo de secagem por MO.

MAWIOO et al. (2017) investigaram a aplicação de um reator de micro-ondas em escala piloto para realizar a redução de patógenos e a diminuição de volume de quatro tipos diferentes de lodos de tratamento de esgoto.

Segundo o estudo, foi constatado que a aplicação de micro-ondas foi capaz de inativar de maneira eficaz, bactérias como: *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* em todos os materiais avaliados. Foi observado ainda que após a aplicação do tratamento por MO, foi possível obter concentrações de sólidos que variaram entre 92% e 98%, e reduções de massa/volume entre 60% a 93%, de acordo com o tipo de material.

Foi constatado também que as características físico-químicas, como viscosidade, quantidade de matéria orgânica e umidade, impactavam significativamente na eficiência da redução de massa, que pode ser melhorada através de pré-tratamentos de desague.

Os autores registraram, ainda, o consumo energético de evaporação no sistema, entre 0,2 e 0,3 kg de água evaporada, por quilowatt-hora consumido, de acordo com o tipo de material avaliado. Por fim, sugeriram melhorias ao sistema utilizado, como pré-aquecimento do reator e melhor extração de vapores, para redução do consumo específico de energia.

KOCBEK et al., (2020) aferiu a performance de um sistema de secagem por micro-ondas em escala piloto, avaliando as taxas de secagem e o consumo específico de energia para evaporação da umidade. As amostras utilizadas foram de lodo centrifugado de um sistema de tratamento de esgoto municipal por lodos ativados, aplicando potências no sistema, que variaram de 1 kW a 6 kW.

Em suas avaliações, os autores observaram que a utilização de MO apresentam taxas de secagem constantes mais longas, o que gerou um processo de secagem com menor consumo energético e tempos de secagem reduzidos. Além disso, chegaram a consumos de energia que variaram de 0,42 a 0,78 kg de água evaporado por kWh consumido, demonstrando eficiências maiores do que as obtidas por MAWIOO et al. (2017).

Verificou-se também que uma maior potência proporcionou maior eficiência, ou seja, maiores potências geraram uma melhor absorção de energia pela massa de lodo, reduzindo tanto o tempo de secagem quanto o consumo energético. Por fim, compararam a eficiência energética com sistema de secagem térmico convencional, concluindo que o consumo energético específico é similar.

GUO, ZHENG & LI (2021), analisaram o consumo de energia do processo de secagem de lodos por micro-ondas em escala piloto. No trabalho, os autores utilizaram dois tipos diferentes de lodo de esgoto doméstico, sendo um deles lodo desaguado e outro lodo desaguado oriundo de compostagem. Em seus resultados, a evaporação do quilograma de água por quilowatt-hora consumido variou em média de 0,20 a 0,50.

Dentro das variações constatadas, os autores observaram que a potência impactou fortemente o consumo específico de energia, onde maiores potências, geraram resultados mais eficientes, corroborando com o estudo de KOCBEK et al. 2020, observando ainda, que cada aumento de 1 kW de potência, houve melhora de 20% na eficiência energética, pontuando também que havendo fontes de energia renováveis disponíveis, pode-se reduzir ainda mais o custo de secagem.

KOCBEK et al. (2022) realizaram um estudo de secagem de lodo de esgoto por micro-ondas em quatro tipos amostras de lodo doméstico, visando observar como as características físico-químicas impactam no processo. Os resultados mostraram que concentrações de óleos e graxas mais elevadas, aumentam a hidrofobicidade da amostra e a quantidade de água livre presente, facilitando a eliminação da água no processo de

secagem, ao passo que materiais orgânicos como proteínas e carboidratos, dificultam a rotação das moléculas de água devido às interações polares (hidrofilicidade), diminuindo a eficiência energética.

Segundo RADOIU & MELLO, (2022), a ampliação da aplicação da tecnologia de micro-ondas pode trazer oportunidades de desenvolvimento de novos produtos e soluções menos impactantes em termos de prejuízo ao meio ambiente, embora, em escala industrial, as aplicações viáveis economicamente são normalmente de produtos de valor agregado.

Os autores fazem menção ao potencial que aplicações de outras tecnologias acopladas à MO que podem trazer à indústria maior eficiência energética, maior rendimento e melhoria de qualidade dos produtos.

Vista a oportunidade de trazer mais eficiência através do micro-ondas e a necessidade de destinação adequada do resíduo do tratamento de água, o presente trabalho visou explorar a secagem de lodo de ETA por micro-ondas como uma alternativa para tratamento do resíduo, avaliando o comportamento da eficiência de consumo de energia em relação à água evaporada, de acordo com variações de massa, potência do equipamento e tempo de secagem em escala de bancada.

Foi buscado ainda, através de um modelo matemático, encontrar o cenário de maior aproveitamento de energia que dê indícios de viabilidade técnica e financeira de um sistema de secagem por MO.

Sabendo ainda das possíveis reações químicas que podem ocorrer durante o processo de secagem por MO (e.g. combustão e decomposição), o presente trabalho avaliou ainda possíveis efeitos ao meio ambiente, estudando as emissões gasosas ocorridas durante o processo, bem como, eventuais mudanças na ecotoxicidade do solubilizado do lodo seco frente a organismos pertencentes a dois níveis tróficos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 ORIGEM DE LODO

As amostras foram recolhidas da Estação de Tratamento de Água do município de Barra Velha (SC). A estação em questão é composta de um sistema convencional de tratamento, onde a coagulação é realizada por adição de policloreto de alumínio com mistura hidráulica rápida, sendo a floculação realizada hidraulicamente com floculadores verticais, seguido de decantação livre em lagoa de decantação, filtração ascendente, e por fim, cloração e fluoretação.

Conforme fluxograma da Figura 4, o lodo acumulado na lagoa de decantação é então bombeado até um tanque de equalização para regularização da concentração de sólidos. Após, o lodo é bombeado até um espessador para aumento da concentração de sólidos e é realizada uma nova etapa de homogeneização, para em seguida ser realizada a adição de polímero não-iônico. Por fim, a mistura de lodo e polímero é destinada à prensa parafuso que desagua mecanicamente o material. Ao sair do equipamento, a torta de lodo é acumulada e segue para destinação ao aterro sanitário.

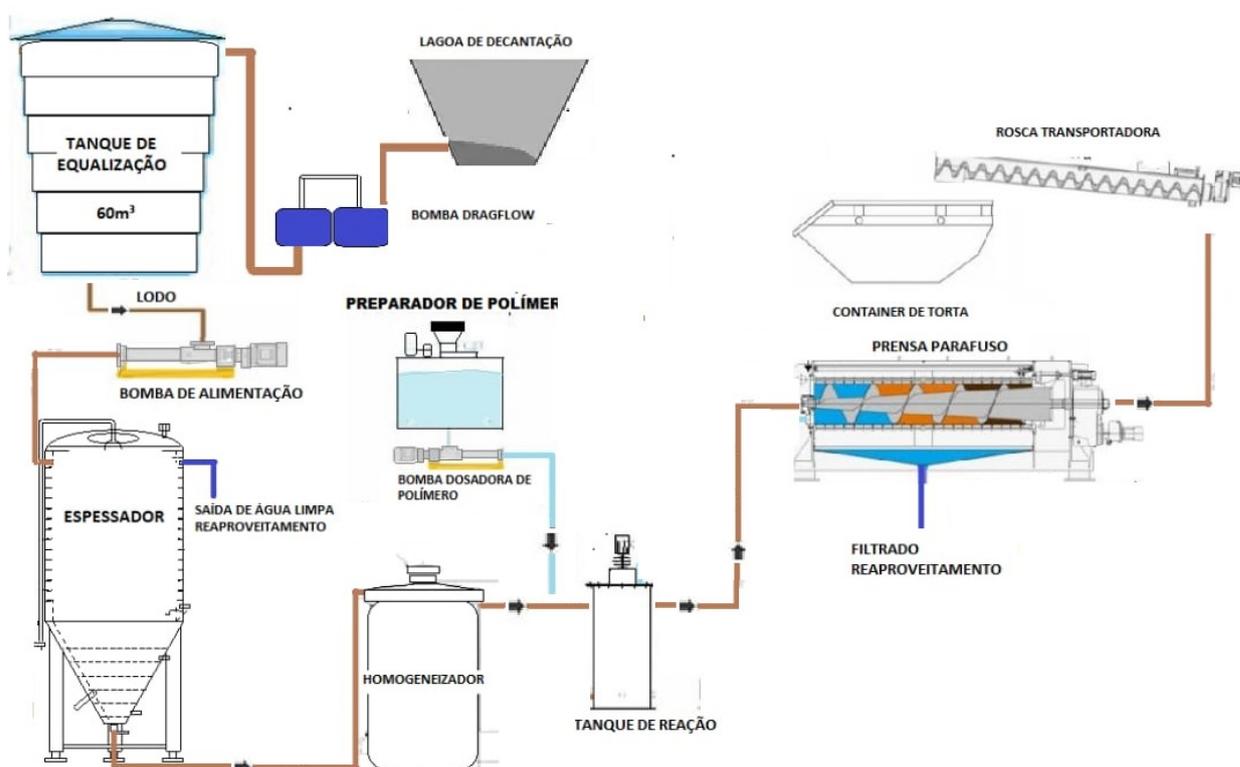


Figura 4. Fluxograma do sistema de desaguamento de lodo de lodo da ETA Barra Velha-SC

Fonte: Autor 2023.

Para o presente trabalho foi utilizado a torta de lodo oriunda da prensa parafuso como material para a realização de testes conforme a Figura 5. A produção de torta atual gira entre 100 a 150 toneladas por mês.



Figura 5. Amostra de lodo coletada na ETA de Barra Velha, após desaguamento por prensa parafuso.
Fonte: Autor, 2023.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

5.2.1. Análise de sólidos

As análises de sólidos foram realizadas em triplicata, onde determinou-se a quantidade de sólidos totais, teor de umidade, sólidos fixos em base seca e sólidos voláteis em base seca.

Para determinação de teor de sólidos e umidade na amostra inicial de lodo foi utilizada balança analítica marca Shimadzu modelo ATX224 e estufa de secagem SOLAB modelo SL-100, seguindo a metodologia 2540 B, do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – SMWW (APHA; AWWA; WEF, 2017).

Já para determinação de sólidos fixos e voláteis, a amostra de lodo seca na metodologia anterior, foi então levada à mufla Quimis modelo Q318M25T a 550°C por uma hora, para eliminação da matéria volátil. A amostra foi então novamente pesada para determinação da massa de sólidos fixos e voláteis. Os cálculos foram realizados conforme

determina a metodologia 2540 G do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – SMWW (APHA; AWWA; WEF, 2017).

5.2.2. Classificação do lodo pela Norma ABNT NBR 10004/2004

O lodo da ETA de Barra Velha foi submetido às análises da ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004) que trata da classificação de resíduos sólidos quanto à sua periculosidade à saúde humana e ao meio ambiente, podendo o resíduo ser considerado perigoso (Classe I) ou não-perigoso (Classe II), sendo os resíduos classe II ainda subdivididos em inertes e não-inertes.

Para ser considerado resíduo não perigoso, o resíduo sólido não pode apresentar características de: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade ou ultrapassar os limites estabelecidos para o lixiviado obtido segundo a norma. Já a classificação do resíduo classe II em inerte ou não-inerte depende de uma série de valores máximos permitidos para parâmetros químicos analisados no solubilizado do lodo conforme anexo G da norma, onde qualquer parâmetro acima do limite determinado pela norma, classifica o resíduo como não-inerte.

A Figura 6 apresenta o fluxograma para definição da classificação de resíduos como o lodo de ETA estudado no presente trabalho. As metodologias analíticas utilizadas para análise dos parâmetros estão dispostas em detalhes no Anexo 1, o qual traz o relatório analíticos dos parâmetros que classificam o resíduo sólido conforme acima descrito, bem como apresenta as informações que compõe os parâmetros do anexo G da norma supramencionada.

5.3 ENSAIOS DE SECAGEM

As variáveis independentes analisadas foram a massa inicial de lodo aplicada, o tempo de secagem e a potência do equipamento. Realizou-se uma análise de superfície de resposta executando 2^3 experimentos nos limites superiores e inferiores para cada uma das variáveis e 6 experimentos em condições centrais e, por fim, foram realizados 6 pontos axiais nas faces do cubo, visto que o sistema já apresentava os pontos fatoriais na potência máxima. O objetivo foi avaliar as correlações, determinar os efeitos de cada uma das variáveis e suas combinações sobre o valor de consumo energético (kg de água evaporada/kWh). A Tabela 1 apresenta os valores do sistema fatorial, bem como, dos pontos centrais e axiais.

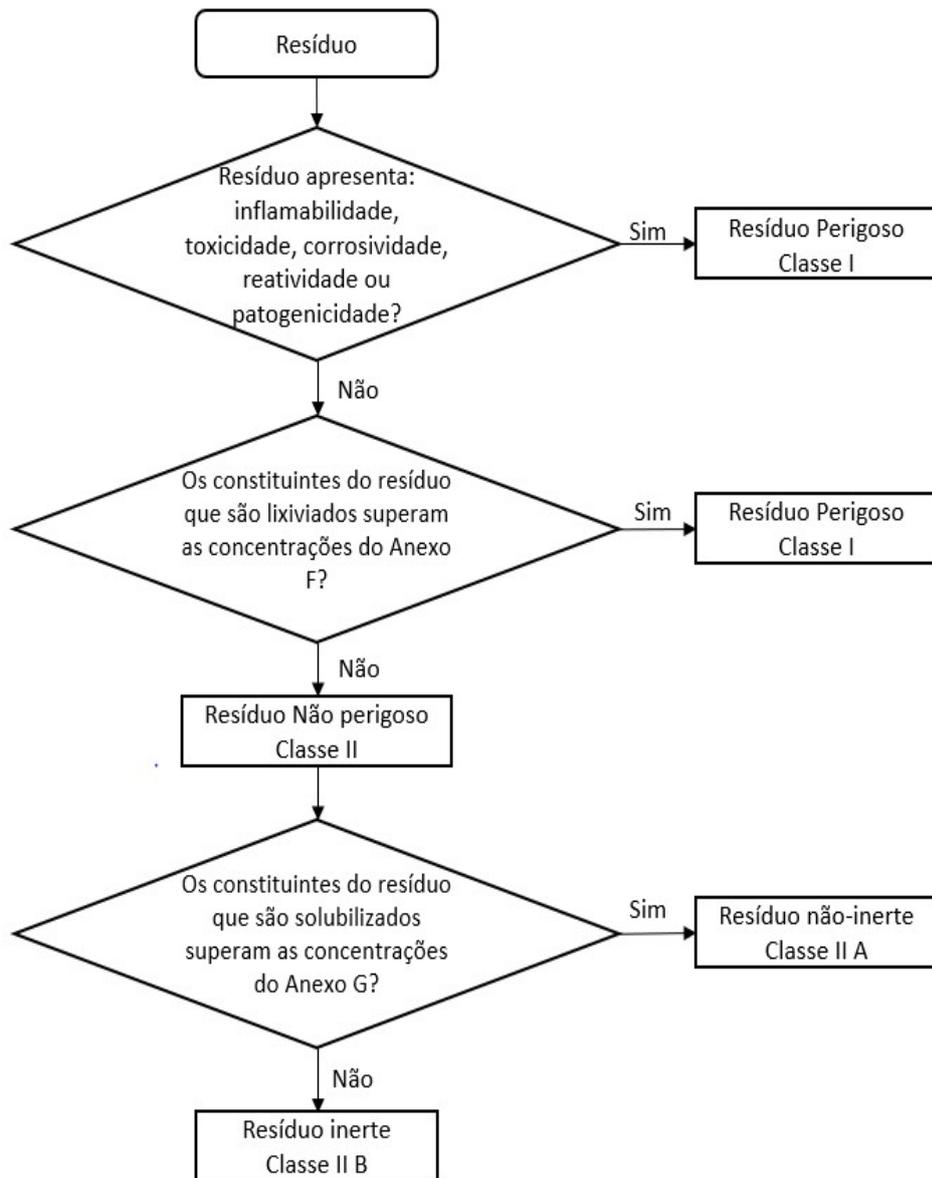


Figura 6. Classificação de resíduos sólidos

Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

Tabela 1. Planejamento experimental dos ensaios de secagem de lodo por MO.

Ordem	Potência (%)	Massa inicial (g)	Tempo (min)
2	40	100	10
12	100	100	10
11	40	300	10
1	100	300	10
13	40	100	30
8	100	100	30
6	40	300	30
14	100	300	30
20	70	100	20
15	70	300	20
17	40	200	20
16	100	200	20
18	70	200	10
19	70	200	30
3	70	200	20
4	70	200	20
7	70	200	20
9	70	200	20
10	70	200	20
5	70	200	20

O sistema de bancada consistiu na utilização de forno de micro-ondas convencional marca LG, modelo MS2346GA, potência de 800W e frequência de 2450 MHz, com regulação de potência na interface do equipamento.

Foi adaptado um exaustor de painel elétrico no topo do equipamento para auxiliar na eliminação do vapor de água gerado durante a secagem. Foi utilizada balança de precisão Bel-engineering Modelo Mark L10001 para pesagem de massas iniciais e redução da massa a cada corrida experimental realizada. O consumo de energia foi medido através de equipamento Wattímetro Kuman modelo KW47, com modelo de tomada brasileiro.

A Figura 7 apresenta imagens do equipamento de micro-ondas e a Figura 8 (a e b) apresenta a balança e o medidor de energia respectivamente.



Figura 7. Micro-ondas com exaustor adaptado no topo, utilizado para os ensaios de secagem

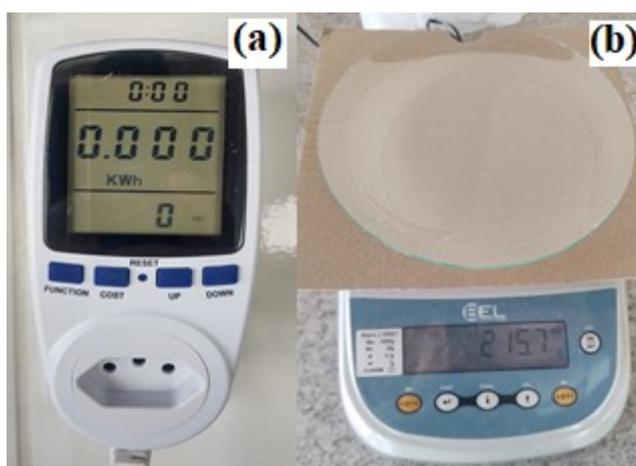


Figura 8. Equipamentos de (a) medição de consumo de energia e (b) aferição das variações de massa

Em resumo, a cada corrida foi realizada a pesagem do lodo desaguado e a massa foi então inserida dentro do equipamento de micro-ondas, onde foi realizado ajuste de potência, e por fim, o ajuste de tempo, conforme as informações presentes na Tabela 1.

Passado o tempo de secagem, o lodo seco foi retirado do equipamento e a massa foi medida imediatamente para verificação da variação do valor da massa evaporada conforme equação 1. A leitura do wattímetro foi registrada, e o resultado de eficiência de evaporação em relação ao consumo energético do sistema experimental foi calculado através da equação 2, para cada corrida, sendo o resultado desta a resposta do estudo.

$$M_{evap}(\text{kg}) = [M_{inicial}(g) - M_{final}(g)] \times 10^{-3} \quad (1)$$

Onde: M_{evap} é a massa evaporada após os ensaios de secagem em quilogramas, M_{inicial} é a massa de lodo medida no início do experimento em gramas, M_{final} é a massa final de lodo após execução da secagem em gramas.

$$E_{\text{Evap}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right) = \left[\frac{M_{\text{evap}}(\text{kg})}{E_{\text{Consumida}}(\text{kWh})} \right] \quad (2)$$

Onde: E_{evap} , é a razão entre a massa evaporada em kg e a energia consumida pelo equipamento de micro-ondas em kWh, M_{evap} é a massa evaporada durante o experimento e a $E_{\text{consumida}}$ é a energia consumida medida através do consumo energético registrado no wattímetro em kWh.

5.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Com os dados da eficiência de evaporação de água foi realizada avaliação estatística de regressão por superfície de resposta por arranjo de composto central (*Central Composite Design* - CCD) para analisar a existência das correlações entre o resultado e as variáveis independentes, bem como, de suas combinações e termos quadráticos.

Foi realizado testes de normalidade Anderson-Darling dos resíduos (diferença do valor do modelo e do valor experimental) para avaliar o comportamento do modelo. Avaliou-se também o resultado do ajuste do modelo matemático gerado através dos resultados do quadrado do coeficiente de Pearson ajustado, bem como, foi analisado os efeitos individuais das variáveis sobre a resposta e comportamento da resposta em relação às variáveis em pares através de gráficos de contorno.

Ademias, foi realizada a determinação do ponto máximo de evaporação de água por quilowatt-hora consumido, dentro das faixas experimentais analisadas e do modelo matemático obtido, através de solver baseado no método do Gradiente Reduzido Generalizado não linear (GRG).

5.5 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA

Para analisar a eficiência do sistema foi utilizado os resultados de evaporação por energia consumida obtido no modelo gerado através dos ensaios de secagem, comparando-os com o

valor teórico de máxima eficiência, isto é, onde toda a energia consumida pelo sistema é convertida em calor. Adotou-se como premissa, a equação 3, a qual apresenta o cálculo da quantidade teórica máxima de água evaporada por kWh de energia.

$$Evap_{Max} \left(\frac{kg}{kWh} \right) = (c_s \times \Delta T + h_{evap})^{-1} \quad (3)$$

Onde: $Evap_{max}$ é a máxima quantidade teórica de água que pode ser evaporada com a aplicação de 1 kWh de energia, h_{evap} é o calor latente da água 2.250 kJ kg^{-1} (KIRKHAM, 2014) à pressão atmosférica, cujo valor convertido é de $0,627 \text{ kWh kg}^{-1}$, c_s é o calor específico da água $4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (KIRKHAM, 2014), cujo valor convertido é $0,0012 \text{ kWh kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ e ΔT é a variação de temperatura inicial e final da amostra em Kelvin.

Assim, a equação 4 demonstra a eficiência percentual entre o valor máximo teórico evaporado, e os resultados obtidos através do modelo matemático do ensaio de secagem.

$$Eficiência (\%) = E_{Evap} / Evap_{Max} \quad (4)$$

Onde: eficiência é o quociente entre a quantidade teórica máxima de água que poder ser evaporada por kWh de energia ($Evap_{max}$) e a quantidade de água evaporada pelo sistema de secagem de acordo com a corrida realizada.

5.6 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Para realizar a análise de viabilidade econômica do sistema de secagem por micro-ondas, foi elaborado equacionamento utilizando o custo de equilíbrio entre o valor do kWh e o valor de transporte e disposição do lodo da ETA, considerando o cenário de maior eficiência obtido no modelo matemático, conforme equação 5.

$$Custo_{kwh} \left(\frac{R\$}{kWh} \right) = E_{Evap}^* \times Custo_{lodo} \quad (5)$$

Onde: $Custo_{kwh}$ é o custo de equilíbrio considerando o consumo de energia e a disposição final do lodo em reais por kWh, E_{Evap}^* é o melhor resultado obtido através do modelo

matemático de secagem em termos de aproveitamento energético em kg por kWh e $Custo_{\text{lodo}}$ é o valor total gasto para transporte e disposição final do lodo em Reais por kg. Ainda, com o objetivo de realizar uma avaliação quanto à possibilidade de produzir-se energia elétrica por painéis solares, foi estimada a área e o custo do kWh mediante aplicação de tal tecnologia. A equação 6, apresenta os cálculos utilizados para a determinação da área de painéis solares necessárias para prover energia ao sistema de secagem por micro-ondas

$$\text{Área (m}^2\text{)} = \frac{E_{\text{consumida}^*} \left(\frac{\text{Kwh}}{\text{kg}}\right) \times M_{\text{inicial}^*}}{P_{\text{solar}} \left(\frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}\right)} \quad (6)$$

Onde: Área é a área total de painéis solares necessária para gerar energia para o sistema de secagem de lodo, $E_{\text{consumida}^*}$ é a energia consumida no melhor resultado de eficiência em kWh, M_{inicial^*} é a massa de lodo desaguado aplicada no melhor cenário de eficiência, P_{lodo} é a produção diária de lodo desaguado da ETA (5.000 kg.dia⁻¹) e P_{solar} é a produção diária de energia por área de placa solar, que para região é de 0,57 kWh m⁻² dia⁻¹ consoante POYER-RADETSKI (2021).

Por fim, foi realizada a avaliação do custo de produção de energia, considerando o investimento para implantação e manutenção do sistema fotovoltaico, foi obtido conforme equação 7, para um horizonte de 20 anos.

$$Custo_{\text{kWh solar}} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}}\right) = \frac{Custo_{\text{m}^2 \text{ solar}}}{P_{\text{solar}} \left(\frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}\right) \times \text{Tempo (dias)}} \quad (7)$$

Onde: $Custo_{\text{kWh solar}}$ é o custo da energia produzida pelos painéis solares, $Custo_{\text{m}^2 \text{ solar}}$ é o custo de implantação e manutenção do sistema fotovoltaico estimado em R\$ 662,00 por m² (POYER-RADETSKI, 2021), P_{solar} é a produção diária de energia por área de placa solar 0,57 kWh m⁻² dia⁻¹ (POYER-RADETSKI, 2021), e tempo é o horizonte de funcionamento de 7.300 dias, equivalente a 20 anos.

5.7 ANÁLISES AMBIENTAIS

5.7.1 Ecotoxicidade do solubilizado do Lodo

Para execução da análise de ecotoxicidade foi realizada a produção de extratos aquosos do lodo, antes e depois do processo de secagem por MOa fim de avaliar a mudança ou não da ecotoxicidade após o tratamento. Nos testes de ecotoxicidade foram usados dois organismos de distintos níveis tróficos, i.e., o microcrustáceo *Daphnia magna* e a bactéria bioluminescente *Allivibrio fischeri*.

O extrato aquoso (solubilizado) foi produzido adicionando-se em um béquer, 250g de lodo pesado em balança de precisão, com acréscimo subsequente de 1.000 mL de água osmolizada.

O material foi então submetido à processo de agitação em equipamento de *Jar test*, Policontrol Flocccontrol IV, por 5 minutos à 30 RPM. Após esta etapa, o material foi transferido para um frasco tampado, onde permaneceu em repouso por 7 dias. A amostra foi então filtrada com membrana filtrante de 0,45 micrômetros, para eliminação do material em suspensão, gerando por fim, o solubilizado do lodo.

Este processo foi realizado para o lodo desaguado antes do processo de secagem por MO (88% de umidade) e para o lodo seco por micro-ondas (78% de umidade), gerando duas amostras para as análises de ecotoxicidade.

As análises de ecotoxicidade foram realizadas para cada amostra de lodo com a utilização do microcrustáceo *Daphnia magna*, e da bactéria bioluminescente *Allivibrio fischeri* conforme as metodologias ABNT NBR 12713 (ABNT, 2016) e ABNT NBR 15411-3 (ABNT, 2021), respectivamente.

Em termos simples, o resultado das análises de ecotoxicidade são expressos em fator de diluição, o qual é o número que representa a quantidade de diluição de amostra que não causa mais efeitos tóxicos ao organismo analisado.

Dessa forma, quando o resultado do ensaio é 1, por exemplo, a amostra sem diluição, não causa toxicidade ao organismo. Caso o resultado seja 2, a amostra diluída em 1:2 (50% de amostra e 50% de água de diluição) não apresenta toxicidade, sendo 4 a amostra diluída em 25% para 75% de água de diluição (1:4), não resulta em toxicidade e assim por diante (RODRIGUES, 2005).

5.7.2 Emissão de Gases

Foi realizada ainda avaliação das emissões gasosas contempladas na Resolução CONAMA 491/2018 (CONAMA, 2018) que trata da qualidade do ar ambiente exterior.

A medida foi feita na saída de exaustão no topo do equipamento de micro-ondas, utilizando-se equipamento VENTIS, modelo MX4 para medição de dióxidos de enxofre e nitrogênio. Para medição de monóxido foi utilizado equipamento ECIL modelo Chemist 502 e para emissões particuladas e gás carbônico foi aplicado o equipamento (TEMPOP, modelo P1000). Estes equipamentos foram usados durante o processo de secagem.

Para execução das medições, 200g de lodo foram submetidos ao processo de secagem por 20 minutos com 100% de potência do equipamento de micro-ondas. Os resultados foram obtidos por leituras diretas, com exceção ao dióxido de carbono, cujo valor de resultado foi considerado a diferença da concentração inicial, em relação à concentração medida. Assim, pôde ser estimado o incremento do resultado de CO₂.

As medições da emissão de gases foram realizadas, no início e a cada 1 minuto, ou seja, o tempo das medições foram realizadas desde o início até o fim do ciclo de secagem.

Separadamente, foram executadas pesagens para verificar o decaimento da massa ao longo do processo de secagem nos mesmos tempos acima descritos de 0 a 20 minutos, com intervalos de 5 minutos.

Optou-se por determinar o decaimento de massa separadamente, para que minimizar o risco de fuga dos gases produzidos ao se fazer a abertura da câmara de secagem. Todo o processo foi realizado em triplicata e utilizou-se a média como resultado das curvas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO

6.1.1 Resultados das Análises dos Sólidos

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos de quantificação de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis do lodo. Em termos médios, a amostra de lodo apresentou cerca de 12% de concentração de sólidos, sendo que 65% deste material constituído de sólidos fixos e 35% de sólidos voláteis.

Dessa forma, fica caracterizado que o lodo em questão é um material com maior composição inorgânica, algo que é justificado pela maior quantidade de material argiloso e

areia em suspensão na água bruta que são removidos durante o tratamento, concordando com as observações de AHMAD; AHMAD; ALAM (2016).

Tal fato também confirma a pouca atratividade na utilização do material na produção de energia por queima, visto que além do alto teor de umidade (média 88%), mais da metade da massa em base seca é incapaz de produzir energia por combustão.

Tabela 2. Resultado das análises de sólidos do lodo
Fonte: Autor, 2023.

Estatística	Teor de sólidos totais	Teor de sólidos fixos	Teor de sólidos voláteis	Teor de sólidos fixos em base seca	Teor de sólidos voláteis em base seca
Número de Amostras	6	3	3	3	3
Média	12,3%	8,1%	4,5%	65,1%	34,9%
Mediana	12,0%	8,1%	5,2%	60,8%	39,2%
Máximo	13,8%	8,3%	5,4%	74,1%	39,5%
Mínimo	10,7%	7,9%	2,8%	60,5%	25,9%
Desvio padrão	1,1%	0,22%	1,49%	7,78%	7,78%

6.1.2 Resultados de classificação do lodo

Em termos de classificação de lodo, os resultados de analíticos demonstram que a amostra avaliada não apresenta inflamabilidade, destacando-se que o ponto de fulgor é superior a 60°C.

Observou-se ainda que a amostra não apresentou corrosividade, sendo o pH da mesma próximo à neutralidade (7,23), não caracterizando-se por ser demasiadamente ácida ou alcalina.

Em relação à reatividade, a característica não foi constatada, salientando-se que ínfimas quantidades de sulfeto e cianeto foram observadas.

Em relação à toxicidade, analisada no lixiviado do lodo, do grupo de parâmetros químicos que são subdivididos em orgânicos, inorgânicos e pesticidas, todos os resultados respeitaram os limites determinado no anexo F da norma ABNT NBR 10004 (2004), sendo que apenas os parâmetros bário e flúor foram identificados acima do limite de quantificação

do método aplicado. Todavia, em relação aos valores máximos, suas concentrações foram equivalentes a menos de 1% do limite permitido.

Por fim, a amostra não apresentou patogenicidade, não sendo constatada a presença de patógenos como *Giardia* e *Cryptosporidium*, bem como, vírus entéricos. Dado o exposto acima, o lodo não apresenta característica perigosa, sendo determinado, portanto, um resíduo Classe II (não-perigoso).

Em relação à classificação do resíduo quanto à inerte ou não-inerte, a Tabela 3 apresenta os parâmetros do anexo G analisados que apresentaram resultado acima do limite de quantificação do método aplicado, conforme anexo 1. Pode ser observado, que os parâmetros alumínio, cianeto, ferro, nitrato e manganês, não atenderam ao limite determinado, caracterizando o lodo como não-inerte. Dessa forma, a classificação final do resíduo sólido a luz da ABNT NBT 10004 (2004) foi de resíduo Classe II – A, ou não-perigoso e não-inerte.

Tabela 3. Resultados de análise do solubilizado do lodo
Fonte; Autor, 2023.

Parâmetro	Resultado (mg L ⁻¹)	Limite (mg L ⁻¹)	Atende a Norma?
Alumínio	70,713	0,2	Não
Bário	0,279	0,7	Sim
Cianeto	0,230	0,07	Não
Cloretos	60,41	250	Sim
Ferro	488,958	0,3	Não
Manganês	2,839	0,1	Não
Nitrato	13,8	10,0	Não
Sódio	10,495	200,0	Sim
Sulfato	14,00	250,0	Sim
Zinco	0,104	5,0	Sim

6.2 RESULTADO DOS ENSAIOS DE SECAGEM:

A Tabela 4 apresenta os dados de planejamento experimental, os resultados obtidos em cada uma das corridas experimentais e a resposta calculada de massa evaporada por energia consumida. É mostrada também a ordem em que as corridas experimentais foram

realizadas, onde buscou-se a realização aleatória para mitigação de erros causados por ruídos.

Tabela 4. Planejamento experimental executado com resposta e resultados obtidos
Fonte: Autor, 2023

Ordem dos Testes	Variáveis (fatores)			Resultados		Resposta	
	Potência (%)	Massa (g)	Tempo (min)	Massa final (g)	Massa Evaporada (g)	Energia Consumida (kWh)	E_{Evap} (Kg kWh ⁻¹)
2	40	100	10	58.7	41.3	0.085	0.486
12	100	100	10	25.2	74.8	0.214	0.350
11	40	300	10	272.5	27.5	0.086	0.320
1	100	300	10	166.3	133.7	0.22	0.608
13	40	100	30	18.1	81.9	0.257	0.319
8	100	100	30	11.8	88.2	0.603	0.146
6	40	300	30	151.6	148.4	0.254	0.584
14	100	300	30	31.4	268.6	0.622	0.432
3	70	200	20	51.5	148.5	0.291	0.510
4	70	200	20	51.1	148.9	0.292	0.510
5	70	200	20	52.1	147.9	0.293	0.505
7	70	200	20	52.5	147.5	0.287	0.514
9	70	200	20	51.6	148.45	0.294	0.505
10	70	200	20	51.8	148.2	0.293	0.506
20	70	100	20	12.4	87.6	0.289	0.303
15	70	300	20	122.9	177.1	0.292	0.607
17	40	200	20	105	95	0.171	0.556
16	100	200	20	23.2	176.8	0.426	0.415
18	70	200	10	121	79	0.146	0.541
19	70	200	30	22.9	177.1	0.437	0.405

6.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

6.3.1 Análise de Normalidade

Primeiramente, o valor do nível de significância (α) adotado para as análises estatísticas do presente trabalho foi 0,05. Para avaliar o comportamento da modelagem, foi realizado teste de normalidade dos resíduos, onde verificou-se, conforme Figura 9, que os erros são normalmente distribuídos ($p_{valor} = 0,803$).

Sendo assim, é possível afirmar que o sistema é bem-comportado, ou seja, os resultados foram estáveis, os erros são aceitáveis e os resultados não foram tendenciosos, permitindo as análises de variância, as quais tem a normalidade dos resultados como premissa.

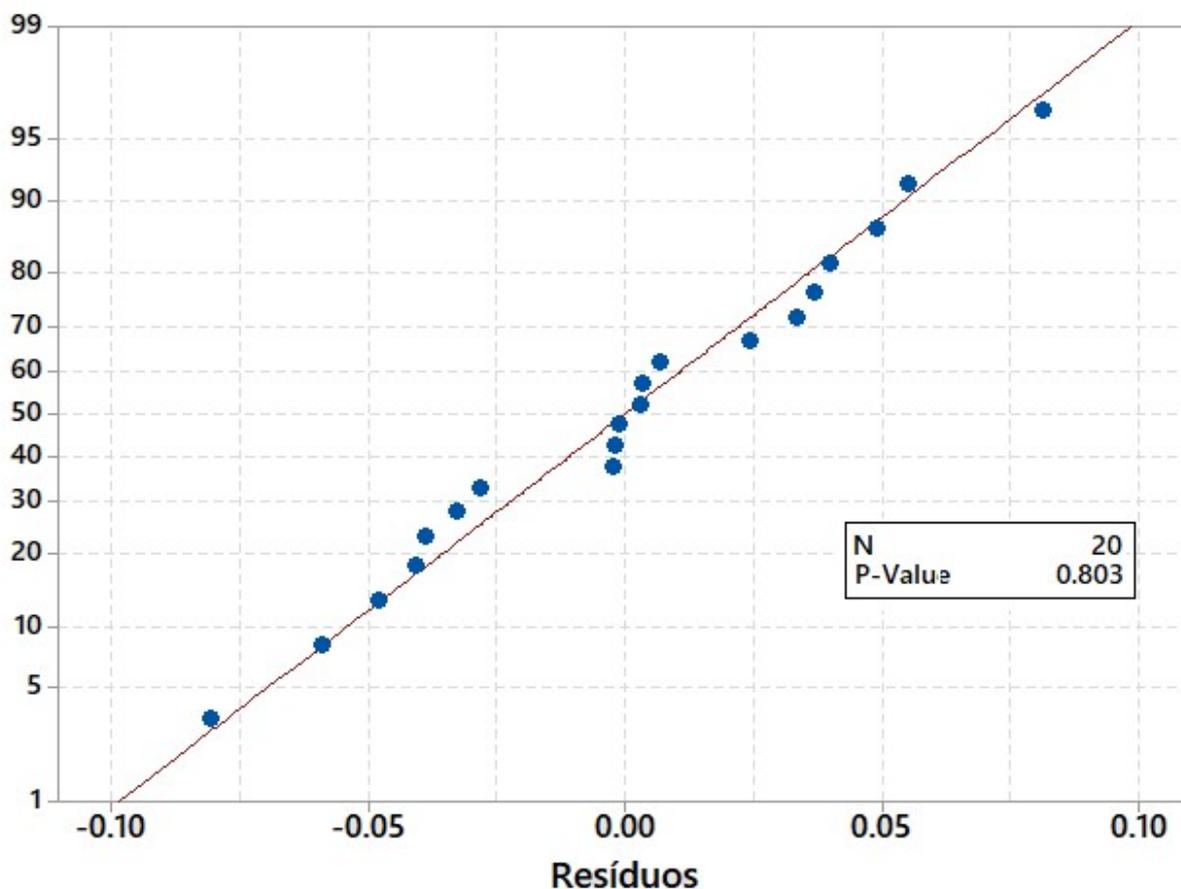


Figura 9. Teste de normalidade realizado nos resíduos
Fonte: Autor, 2023

6.3.2 Regressão da superfície de Resposta

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise de variância realizados. Conforme pode ser observado, das três variáveis independentes analisadas, observou-se que massa e tempo apresentaram correlações estatísticas significativas, enquanto, a potência não apresentou significância estatística na eficiência de secagem do sistema.

Em relação aos termos quadráticos, foi observado que nenhum dos resultados apresentou significância, ao passo, que em relação às combinações de segunda ordem dos parâmetros, todas as interações apresentaram relevância estatística.

O resultado de ajuste do modelo, considerando o número de preditores utilizado (R^2 ajustado), foi de 0,76, demonstrando um bom encaixe do modelo em relação aos dados experimentalmente obtidos.

Tabela 5. Resultados de análise de variância dos experimentos realizados.

Termo	Efeito	p-Valor	Correlação Estatística	Coefficiente
Constante	-	-	-	0.249
Potência	-0.0628	0.120	Não	0.0023
Massa	0.1894	0.000	Sim	0.0005
Tempo	-0.0836	0.047	Sim	0.011
Potência²	-0.0396	0.586	Não	-0.000022
Massa²	-0.1006	0.184	Não	-0.000005
Tempo²	-0.0639	0.386	Não	-0.000319
Potência x Massa	0.1212	0.023	Sim	0.000019
Potência x Tempo	-0.1192	0.016	Sim	-0.000199
Massa x Tempo	0.1149	0.019	Sim	0.000057

Em relação ao efeito das variáveis independentes à resposta, pode ser observado consoante a Figura 10, que a massa foi a variável que mais impactou na quantidade de água evaporada por kWh consumido, seguida pelo tempo e, por fim, a potência.

Nota-se, que o efeito da massa é superior ao dobro dos efeitos das outras duas variáveis independentes sendo, portanto, a massa o fator mais significativo dentro das faixas de estudo adotadas.

Destaca-se ainda que, mesmo que isoladamente, a potência não tenha apresentado correlação estatística, as suas interações com as demais variáveis apresentaram resultado significativo, o que explica o efeito da mesma no resultado da resposta.

A Figura 11 apresenta o gráfico de contornos da resposta em relação às variáveis independentes, conformes os gráficos (a), (b) e (c), que demonstram as regiões de resposta dadas pelas variáveis massa e potência, tempo e potência e massa e tempo, respectivamente.

Inicialmente para a Figura 11(a) é observado que à medida que a potência aumenta em relação à uma quantidade de massa inferior, é perdido eficiência de evaporação, ao passo que em quanto ambas estão próximas dos seus máximos, o valor de eficiência aumenta. Este fenômeno pode ser explicado pela quantidade de energia específica aplicada no lodo. Em situações onde aplica-se maior quantidade de potência e a massa de lodo é pequena, existe excesso de energia aplicada cuja a massa de amostra não consegue absorver, ocorrendo então dissipação de parte da energia, reduzindo a eficiência. Ao aumentar a massa, observa-se que a absorção de energia se torna mais eficiente e, conseqüentemente, é possível evaporar mais água.

Todavia, deve ser observado que à medida que um determinado material vai perdendo umidade, a constante dielétrica do material vai se reduzindo, o que gera uma maior dificuldade na absorção de energia. Sendo assim, a combinação de maior massa e maior potência foi capaz de gerar os valores mais altos de eficiência de secagem.

Já na Figura 11(b) observa-se que existe uma região intermediária de maior eficiência. Em baixas potências com pouco tempo de exposição não existe tempo hábil para que a amostra absorva a energia necessária para a evaporação, ao passo que ao utilizar-se alta potência por períodos de secagem mais longos, observa-se que há uma forte perda energética, pela redução da capacidade de absorção de calor ao decorrer da redução de umidade.

Há de ser observado que em algumas das corridas experimentais houve não só a eliminação de praticamente toda a umidade, como houve a volatilização de parte da massa de sólidos totais da amostra, o que é energeticamente oneroso.

Por fim, na avaliação da resposta versus massa e tempo (Figura 11(c)) é observado que a exposição de uma massa pequena por um tempo prolongado acarreta a redução da eficiência de evaporação de água, mas um tempo de exposição intermediário com massas maiores é capaz de gerar os melhores resultados.

Nesse sentido, as massas maiores são capazes de manter a capacidade de absorção de calor média por um período mais longo, sendo que a partir de uma determinada umidade volta-se a perder eficiência.

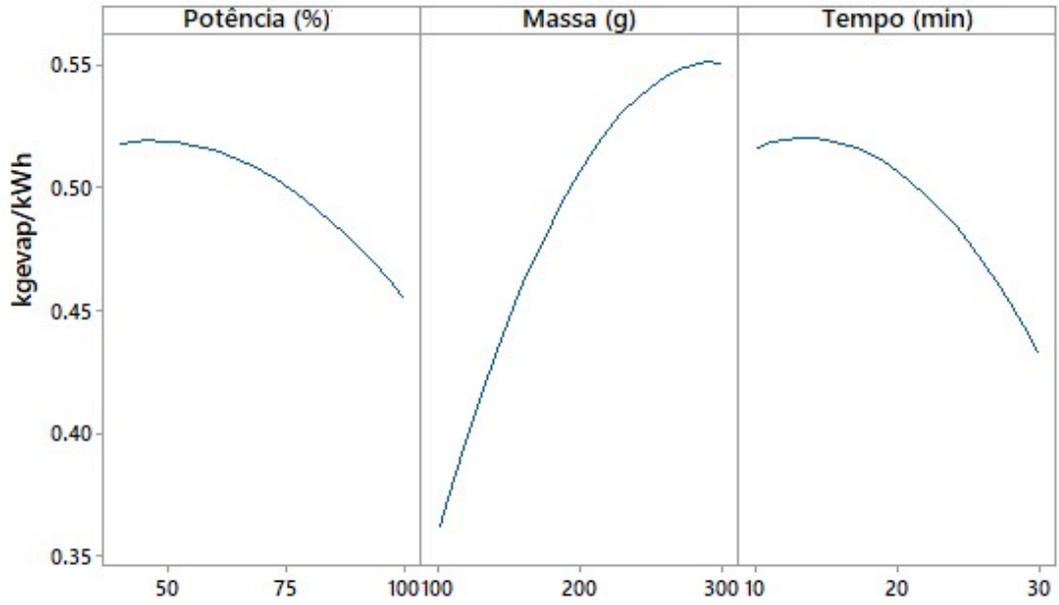


Figura 10. Variação das respostas médias em relação às variáveis independentes.

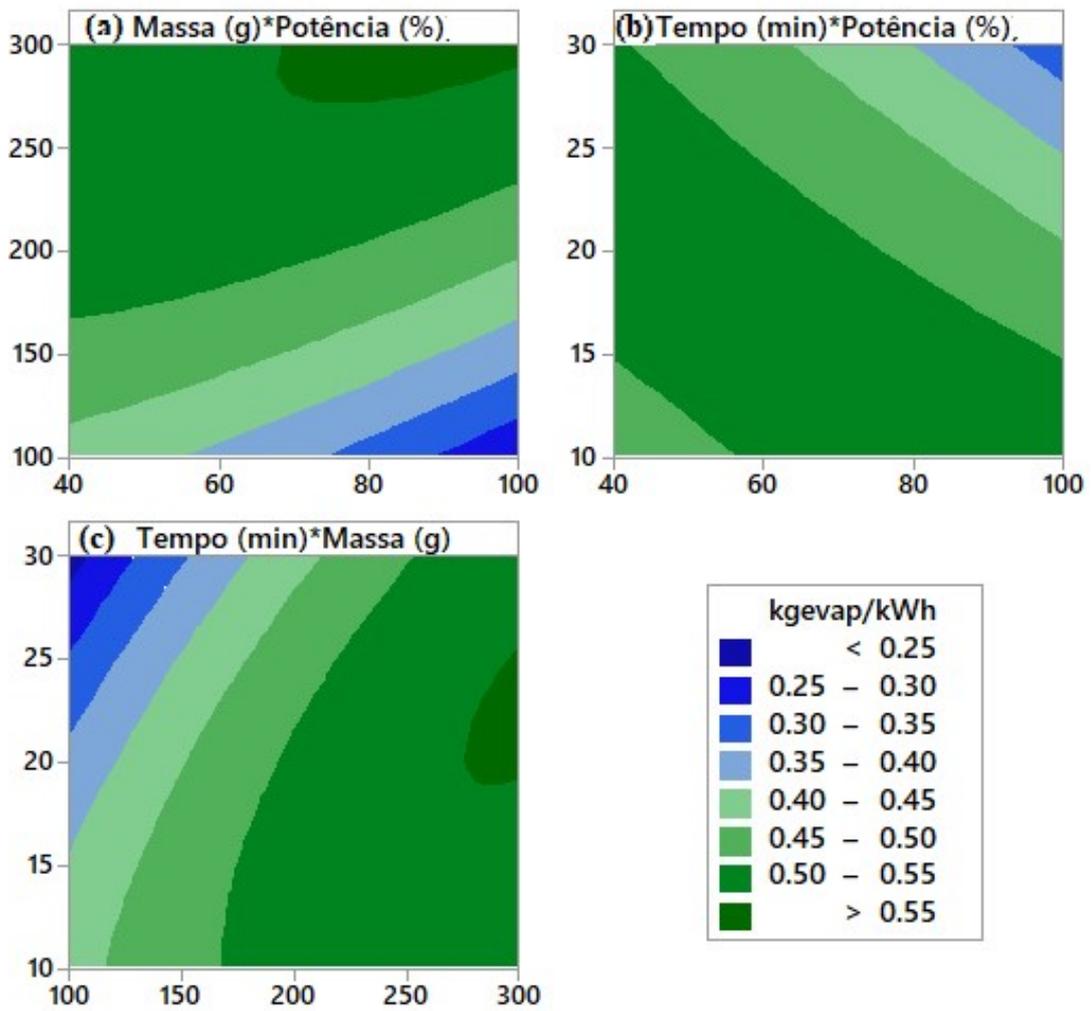


Figura 11. Resultados de gráficos de contorno.

Para determinar o ponto de máximo obtido na superfície de resposta foi utilizada resolução de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) não linear, onde determinou-se como objetivo a maximização da quantidade de água evaporada por energia consumida, sendo que os três fatores do estudo foram variados ao longo da superfície e o sistema foi restrito para que a soma dos fatores quadráticos não fosse superior aos limites do arranjo fatorial, visto que os pontos axiais estavam restritos à face do cubo, conforme anteriormente mencionado.

A resolução do modelo determinou o ponto máximo de 0,56 kg evaporado por quilowatt-hora consumido com aplicação de 84% de potência, massa inicial de 286g e tempo de secagem de 18 minutos. A Tabela 6 apresenta sumariamente o ponto de máximo obtido através do modelo.

Comparando-se o resultado obtido com outros sistemas de secagem por MO MAWIOO et al. (2017) e GUO et al. (2021), obtiveram resultados que variaram de 0,2 to 0,3 kg kWh⁻¹ e 0,2 to 0,5 kg kWh⁻¹, respectivamente, demonstrando maior consumo de energia em relação ao presente estudo. Por outro lado, KOCBEK et al. (2020), obteve resultados de até 0,72 kg kWh⁻¹, e KOCBEK et al. (2022), apresentou uma média de 1,0 kg kWh⁻¹, indicando que existe possibilidades de aumento de eficiência.

Tabela 6. Resultados do ponto de máximo encontrado no modelo.

Variáveis (Fatores)			Resposta
Potência (%)	Massa (g)	Tempo (min)	E_{Evap} (Kg kWh⁻¹)
84	286	18	0,56

Há de ser observado que o ponto de inflexão encontrado no modelo não retrata o maior ponto de eficiência encontrado no modelo. Tal fato indica que o ponto máximo encontrado se trata de um ponto de máximo local, sendo plausível que sejam encontrados pontos de maior eficiência em análises experimentais que realizem a expansão das faixas de potência, massa e tempo utilizados.

6.3.3 Análise de Eficiência

A eficiência dos resultados obtidos foi avaliada em relação à máxima eficiência teórica de evaporação, isto é, a evaporação gerada caso a amostra absorvesse 100% da energia consumida pelo sistema.

Em média, o aproveitamento energético ficou em torno de 32% da energia aplicada, com amplitude de 24%. O resultado de menor aproveitamento energético foi no ponto fatorial 100 gramas, 100% de potência e 30 minutos de secagem, gerando uma eficiência de apenas 10%, enquanto a maior eficiência obtida (44%) foi verificada no ponto fatorial 100% de potência, 300 gramas e 10 minutos.

A Figura 12 apresenta os resultados de eficiência para os pontos fatoriais, pontos axiais, médias do ponto central e ponto de máximo local obtido. Considerando o melhor resultado reportado no presente estudo, observou-se que a eficiência foi um pouco melhor que a reportada por DOMINGUEZ et al. (2005), que obteve 40% de aproveitamento em escala de bancada.

Em contraste, as escalas piloto de KOCBEK et al. (2020) e KOCBEK et al. (2022), encontraram suas melhores eficiências em torno de 55% a 65%, respectivamente. Conforme anteriormente mencionado, escalonar o sistema de micro-ondas para equipamento de maior porte tem potencial para aumento de eficiência energética.

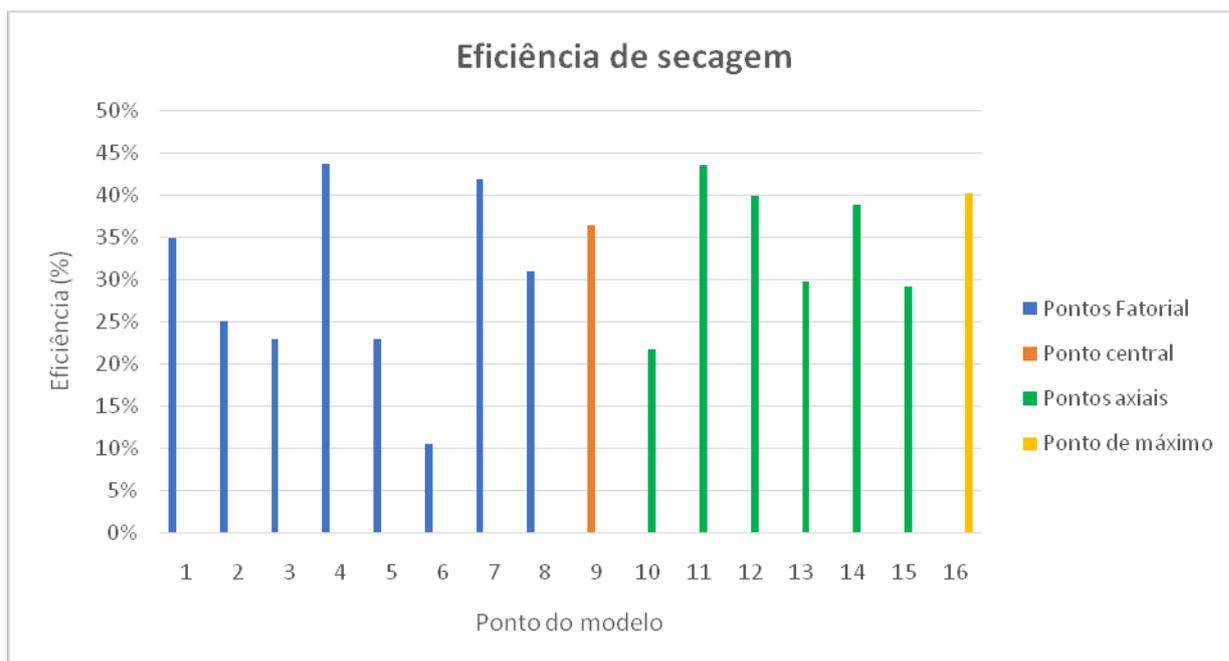


Figura 12. Valores de eficiência para os resultados experimentais.

6.3.4 Análise de Viabilidade

A análise de viabilidade foi realizada através de um modelo linear onde o coeficiente angular foi dado pelo resultado de maior eficiência apresentado no presente trabalho, bem como, as eficiências reportadas por KOCBEK et al. (2020) e KOCBEK et al. (2022).

Conforme determinado na metodologia, a variável independente foi o custo de transporte e disposição final do lodo no aterro, resultando no custo máximo de 1 kWh, para equilíbrio dos custos (Figura 13).

Por essa ótica, atualmente o custo de disposição do lodo da ETA em que foram colhidas as amostras é de R\$ 350,00 por tonelada, o que gera uma equivalência de 0,21 centavos de custo por quilowatt-hora. Ou seja, para a estação em questão, seria necessário produzir energia com o custo igual ou inferior ao valor supramencionado para que haja viabilidade econômica. Ao adotar-se os melhores resultados de KOCBEK et al. (2020) e KOCBEK et al. (2022), o custo de equilíbrio do kWh seria de R\$ 0,27 e R\$ 0,35 respectivamente.

Avaliando-se da perspectiva do custo de transporte e destinação final do lodo e considerando-se que o valor médio de um kWh gira em torno de R\$ 0,60, haveria viabilidade de secagem por micro-ondas caso o custo de disposição do lodo fosse de aproximadamente

R\$ 987,00 por tonelada, com a melhor eficiência reportada no presente estudo. Ao utilizar-se os resultados das referências supracitadas, o custo seria de R\$ 769,00 e R\$ 600,00 por tonelada, na mesma ordem.

Isto posto, verifica-se que para viabilizar a secagem de lodo por MO, faz-se necessário buscar alternativas para que exista um aumento de eficiência do sistema como, por exemplo, buscar combinações com sistemas de redução de pressão (vácuo) para gerar uma maior evaporação, com a mesma quantidade de energia absorvida, além de retirar o vapor de maneira mais eficiente, evitando que o mesmo condense durante o processo de secagem e aumente o consumo de energia. Ainda, pode ser avaliada a possibilidade de aproveitamento do calor do vapor de água retirado do sistema, através de sistemas de troca térmica.

Outro ponto a ser observado é a necessidade de um sistema adequado de isolamento térmico no equipamento de MO, o que evitaria perdas de energia devido às trocas de calor com o ambiente externo.

Ademais, pode ser explorada a homogeneização do lodo que sofre o processo de secagem. Isto é, fazer o revolvimento do lodo durante o processo de aquecimento, gerando uma secagem mais homogênea, evitando que partes do material recebam excesso de energia, enquanto, partes do material permaneçam com altos teores de umidade.

Outra maneira de viabilizar a secagem de lodo por micro-ondas é acoplar o sistema às fontes renováveis de geração de energia. Considerando que o Brasil é um país com um dos maiores recursos solares, sistemas de geração de energia fotovoltaica tem crescido largamente na matriz elétrica brasileira, representado atualmente a segunda maior potência instalada em operação no país com cerca de 11,2% do total (CASARIN, 2023).

Já existem empresas de saneamento que geram energia fotovoltaica, sendo que algumas usinas chegam a produzir cerca de 100 MWh mês⁻¹ (VITAL, 2022). Segundo LEGNER (2022), o preço de painéis solares vem reduzindo nos últimos anos, tornando a alternativa cada vez mais atrativa, ainda que os investimentos para instalação ainda sejam altos. Além disso, a facilidade de manutenção e durabilidade dos equipamentos, bem como o aumento da descarbonização, são pontos vantajosos para utilização dessa tecnologia.

Sendo assim, a utilização de energia fotovoltaica, pode ser aliada dos sistemas de secagem de lodo por micro-ondas, sendo que algumas empresas do setor de saneamento, já possuem potência instalada para sua aplicação.

Considerando o acima exposto, foi realizado o cálculo da área total necessária para a secagem de 5 toneladas diárias de lodo desaguado, o que resultou em aproximadamente 6.400 m² de área de produção de energia fotovoltaica, cujo custo de investimento e manutenção para 20 anos é de R\$4,24 milhões. Já a produção de energia média do sistema seria de cerca de 112 MWh por mês. Ao calcular-se o valor do Kwh produzido, obtém-se um resultado de R\$ 0,16 por kWh.

Há de ser destacado, que o valor obtido é 24% inferior ao custo máximo de produção de energia considerando-se a melhor eficiência do presente trabalho (R\$ 0,21 kWh⁻¹), o que confirma que a combinação da secagem por MO com a produção de energia fotovoltaica apresenta viabilidade econômica.

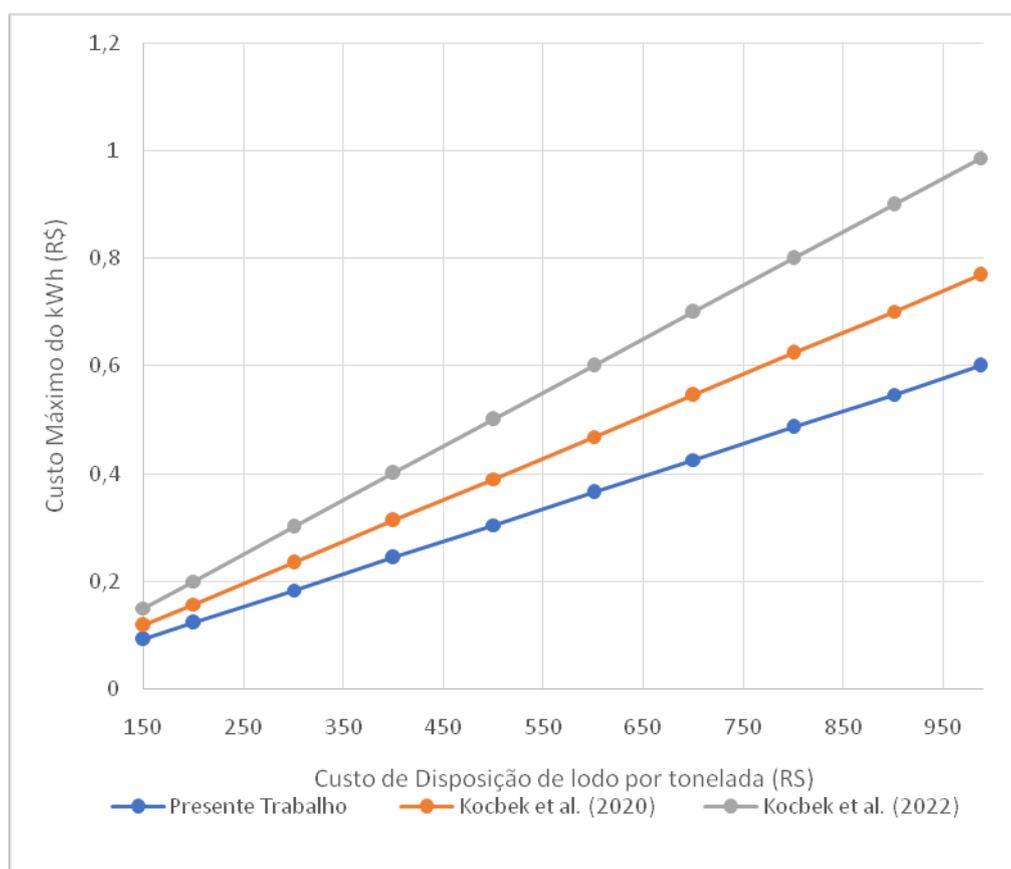


Figura 13 Análise de viabilidade econômica entre custo de disposição de lodo e do lodo e custo do kWh para secagem.

6.4 ANÁLISES AMBIENTAIS

6.4.1 Análise Ecotoxicológica do Solubilizado do lodo

As análises ecotoxicológicas de exposição aguda foram realizadas no solubilizado do lodo antes da sua submissão à secagem por MO e após a execução do processo. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de ecotoxicidade para *Daphnia magna* e *Allivibrio fisheri*, bem como, os limites determinados pelo Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina para efluentes de aterro sanitário na portaria FATMA 017-2002 (FATMA, 2002), ambos expressos em fatores de diluição (FD) para referência de comparação.

Apresenta-se, ainda, a concentração efetiva que causa a mortalidade de 50% da população de organismos expostos (CE₅₀).

Foi observado que houve uma considerável redução de toxicidade entre as amostras analisadas, principalmente para *Daphnia magna*. Considerando-se o organismo de maior nível trófico, o fator de diluição obtido para a amostra sem tratamento (secagem), ficou em 16, ou seja, a diluição onde não foi encontrado efeito tóxico no organismo foi determinada quando apenas 6,25% da amostra foi aplicada.

Em contraponto, após o processo de secagem o fator de diluição obtido foi de 1, ou seja, mesmo expondo o organismo ao solubilizado puro não se observou inibição.

Ademais, comparando os resultados ao limite da portaria supramencionada, verificou-se que amostra antes do processo de secagem não atenderia ao limite determinado para efluente de aterro sanitário, enquanto, a amostra após o processo de secagem respeitaria o valor. Em termos de CE₅₀, verificou-se a variação de 15,99% para 100%, expressando que aproximadamente 16% de concentração do solubilizado antes do processo de secagem inativou 50% dos organismos, enquanto, não foi observada inativação do microcrustáceo no solubilizado obtido após o processo de secagem.

Tabela 7. Resultados de fator de diluição (FD) e CE50 para análises de solubilizado do lodo antes e após o processo de secagem por micro-ondas e os limites determinados por FATMA (2002).

Parâmetro	Solubilizado antes do processo de secagem	Solubilizado após o processo de secagem
FD Limite <i>Daphnia</i> (FATMA, 2002)		8
FD <i>Daphnia magna</i>	16	1
CE50 <i>Daphnia magna</i>	15,99%	100%
FD Limite <i>Allivibrio fisheri</i> (FATMA, 2002)		16
FD <i>Allivibrio fisheri</i>	4	2
CE50 <i>Allivibrio fisheri</i>	75,20%	>80%

Já para *Allivibrio fisheri*, a mudança não foi tão acentuada, mas também houve melhora na qualidade do solubilizado após o processo de secagem, ou seja, diminuição da toxicidade.

A redução do fator de diluição foi de 4 para 2, o que indica que antes do processo de secagem não foi possível verificar toxicidade com a solução composta por 25% do solubilizado, enquanto o solubilizado após a secagem possibilitou a utilização de 50%. Já a comparação da CE50 variou de 75,2% para maior que 80%, para o organismo de menor nível trófico. Em relação ao limite legal para efluente de aterro sanitário, observou-se atendimento para ambas amostras.

A diminuição da toxicidade do solubilizado do lodo após o processo de secagem pode ter acontecido pela volatilização de compostos tóxicos presentes no material, ou até mesmo, pela degradação de compostos tóxicos devido à geração de calor.

Ou seja, ao expor o lodo às micro-ondas, o aumento de temperatura pode ter causado tanto a emissão de agentes tóxicos para a atmosfera durante a evaporação da água, como, causado a quebra de compostos tóxicos em agentes de menor toxicidade.

Paralelamente, é possível ainda que a inativação de organismos presentes na amostra do lodo durante o processo tenha reduzido a competição com os organismos de teste, durante a realização dos ensaios.

Em resumo, o processo de secagem por micro-ondas foi capaz de gerar um lodo cujo solubilizado tem características toxicológicas reduzidas em relação ao lodo originário diretamente do processo de desaguamento, nos dois níveis tróficos analisados no presente trabalho.

6.4.2 Análise da emissão de gases

Em relação à emissão de gases, onde foram medidas concentrações de materiais particulados, NO_2 , SO_2 , CO_2 e CO , foi observado que durante o processo de secagem os parâmetros contendo enxofre ou nitrogênio não apresentaram resultado detectável pelo equipamento. Ou seja, não foram observados valores mensuráveis pelos equipamentos usados durante o experimento, os quais tem limite de detecção relativamente baixos e que são capazes de demonstrar variações nas concentrações que podem causar problemas na saúde pública ou impactar os ecossistemas, conforme preconizado na resolução CONAMA anteriormente mencionada.

As Figuras 14 e 15 apresentam os resultados obtidos das emissões de material particulado e gases, respectivamente, além da variação da massa de lodo ao longo do tempo. Observou-se nas emissões de partículas, que à medida que o processo de secagem foi ocorrendo, houve uma tendência de aumento da quantidade de partículas medidas, embora tenha acontecido uma redução das concentrações intermediárias entre 10 e 15 minutos.

Possivelmente, a redução pode ter se dado pela diminuição da quantidade de vapor gerada à medida que a água livre foi eliminada e reduzindo o arraste de partículas pelo vapor gerado.

A partir dos 15 minutos, a retomada do aumento de concentração de particulados por ter se dado pela combustão incompleta do material em secagem, que pode gerar fuligem. Em relação às emissões de CO_2 e CO , observou-se nos primeiros 9 minutos, pouco aumento da concentração de gás carbônico e nenhuma emissão de monóxido de carbono, devido a grande maioria da energia ter sido aproveitada para volatilização da água.

Entre 10 e 15 minutos aproximadamente, boa parte da umidade já havia sido eliminada, favorecendo o início da combustão do material volátil do lodo, e por consequência, a emissão de gás carbônico.

A partir dos 15 minutos, a geração de gás carbônico foi reduzida, e a emissão de monóxido de carbono iniciou-se. Com a pouca quantidade de umidade no lodo, a energia passou a favorecer a reação de combustão, entretanto, a disponibilização de oxigênio no sistema não foi suficiente para que houvesse combustão completa, e conseqüentemente, passou-se a gerar mais CO.

Há de ser destacado, no entanto, que não é favorável energeticamente, realizar a secagem do lodo até patamares tão elevados de temperatura. Considerando que em termos de eficiência energética, seria recomendado nas condições do experimento, que o tempo de secagem máximo fosse executado até o início do declínio da taxa de secagem (aproximadamente até 9 ou 10 minutos), pois observa-se que nesta faixa de tempo, não haveriam emissões muito significativas.

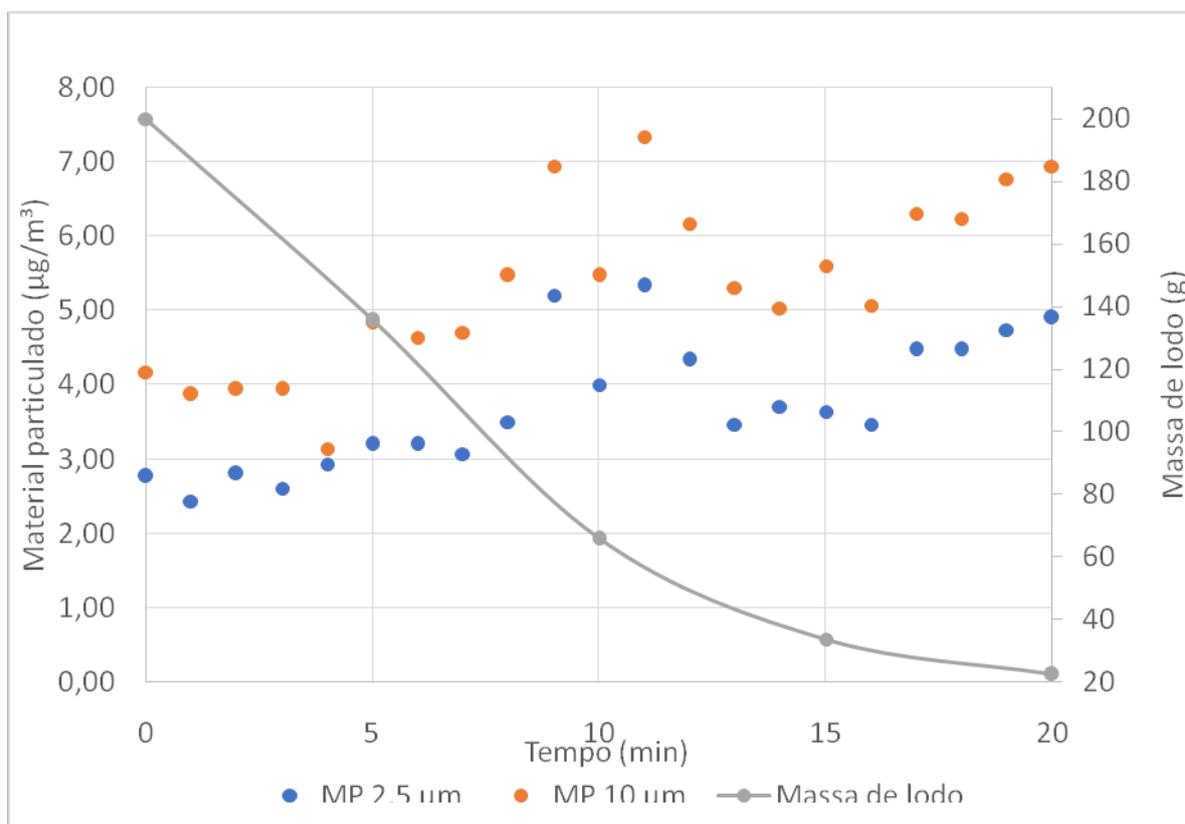


Figura 14 Resultado de emissões particuladas com diâmetro aerodinâmico equivalente menor ou igual a 2,5 micrômetros e 10 micrômetros.

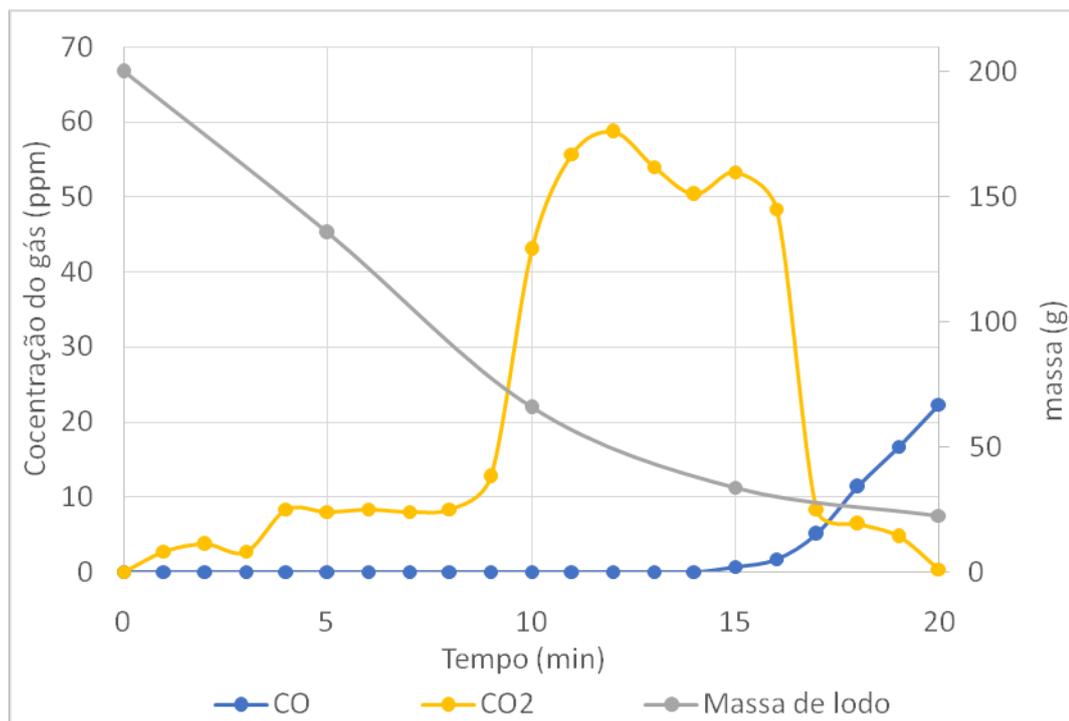


Figura 15 Resultados de emissão de gás carbônico e monóxido de carbono durante o processo de secagem

Ainda, visando avaliar as emissões, foram agrupados os resultados de todas as corridas experimentais para compará-los com limites de qualidade de ar determinados pela Organização Mundial da Saúde, em termos de exposição de curto prazo (WHO, 2021) bem como pela CONAMA 491/2018. A Tabela 8 apresenta a estatística descritiva das observações.

Conforme acima exposto, não houve emissões mensuráveis de dióxido de enxofre ou dióxido de nitrogênio, portanto, a qualidade do ar não foi afetada por estes gases, já que os valores observados estão muito aquém dos valores preconizados pela resolução CONAMA 491/2018 e pela Organização Mundial da Saúde.

Em relação ao material particulado, observa-se que mesmo os resultados máximos observados respeitaram o limite determinado pela autoridade mundial de saúde e Conselho Nacional de Meio Ambiente. Já para o monóxido de carbono, o resultado médio respeitou os limites de comparação, por mais que os valores máximos sejam superiores à ambas diretrizes consideradas, vale destacar-se que tais emissões iniciam-se apenas no fim do processo de secagem.

Mantendo-se o processo dentro da faixa de declínio constante de massa, não há problemas quanto à emissão de CO. Por fim, destaca-se que tanto a Organização Mundial da

Saúde quanto o conselho nacional em questão não determinam um valor máximo de gás carbônico, nas suas diretrizes de qualidade do ar.

Tabela 8. Estatística descritiva dos resultados de emissões observados durante o processo de secagem.
Fonte: Autor, 2023

Estatística	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)	PM10 (µg m ⁻³)	PM 2,5 (µg m ⁻³)	CO2 (ppm)
Número	60	60	60	60	60	60
Média	2,88	0	0	5,38	3,72	22,28
Mediana	0	0	0	3,80	2,70	8,33
Máximo	26	0	0	12,70	8,20	58,67
Mínimo	0	0	0	2,50	1,80	0,33
Desvio padrão	6,48	0	0	3,01	2,06	22,65
Limite (WHO,2021)	3,43*	0,025*	0,013*	45	15	-
Limite (CONAMA, 2018)	9	0,105*	0,008*	50	25	-

*conversão de mg m⁻³ para partes por milhão (ppm) realizada conforme fatores dispostos por WHO (2021), a 20°C e 101 3hPa

Em resumo, pelas observações de emissão realizando-se o processo com taxa constante de secagem, que é a mais favorável em termos de eficiência energética, não há emissões significativas que possam trazer prejuízo à qualidade do ar.

7 CONCLUSÃO

Em termos de caracterização de lodo, observou-se que o teor de sólidos do lodo desaguado foi de 12% aproximadamente, onde cerca de 65% da massa sólida é composta por sólidos fixos e 35% por sólidos voláteis. Em termos de classificação do lodo, foi constatada a Classe II – A, ou seja, o lodo é considerado não-perigoso e não-inerte. Os parâmetros do solubilizado do lodo que impactaram na sua classificação não-inerte foram: alumínio, cianeto, ferro, manganês e nitrato.

Observando os resultados estatísticos sobre a influência dos parâmetros testados na eficiência de secagem do lodo por MO, verificou-se que dentro das análises dos três fatores, comprovou-se a correlação estatística para os fatores, massa e tempo, sendo apenas a potência o fator sem correlação. Todavia, para combinações de fatores, foi observado que massa × potência, massa × tempo e tempo × potência apresentam correlações estatísticas com o resultado de massa evaporada por kWh consumido. Já os termos quadráticos não apresentaram correlação estatística.

O modelo matemático obtido apresentou ponto de máximo que, no entanto, não representou o máximo absoluto, visto que um dos pontos fatoriais apresentou valor superior ao ponto de inflexão da superfície. O melhor resultado obtido de evaporação foi de aproximadamente 0,6 kg evaporado por kWh consumido, o que gerou uma eficiência de aproveitamento de energia de cerca de 44%.

A partir do resultado acima mencionado foi determinado um valor máximo de custo de kWh de R\$ 0,23. Nesse sentido, é necessário combinar a tecnologia de MO com sistemas de geração de energia, dando-se destaque à energia solar que vem crescendo no cenário nacional, bem como, dentro do cenário do saneamento. Considerando as condições locais da ETA alvo do presente estudo, estimou-se uma necessidade de uma área de 6.400 m² de produção energia fotovoltaica, que culminou num custo de R\$ 0,16 kWh, comprovando a viabilização econômica do sistema.

É necessário ainda observar que a aplicação de melhorias no sistema de secagem por micro-ondas, como a homogeneização do lodo e redução de pressão na cavidade de secagem pode trazer um aproveitamento mais adequado da energia e tornar o sistema financeiramente mais atrativo.

Por fim em termos de análises ambientais, observou-se sobre as emissões gasosas ocorridas durante o processo de secagem que: não foram detectadas emissões de dióxido de nitrogênio ou enxofre, gerou-se em média 22,28 ppm de gás carbônico e 2,88 ppm de monóxido de carbono.

Em termos dos limites de qualidade do ar preconizados pela Organização Mundial da Saúde ou resolução CONAMA 491/2018, observou-se que os valores de material particulado de até 2,5 e 10 micrômetros de diâmetro atenderam integralmente aos valores determinados. Já para o monóxido de carbono, deve-se ter atenção para que as emissões não superem o valor da diretriz, controlando-se o tempo de exposição do material de secagem.

Para o NO_2 e SO_2 , conforme acima exposto, não foram detectados resultados, o que implica no atendimento aos valores máximos recomendados. Por fim, não há um limite específico de CO_2 em termos da referência de qualidade de ar utilizada.

Em termos de ecotoxicidade do solubilizado do lodo, verificou-se que houve redução significativa dos fatores de toxicidade do líquido produzido antes da secagem por micro-ondas e após o processo. Para o organismo *Allivibrio fischeri* o fator de toxicidade foi reduzido de 4 para 2, enquanto para *Daphnia magna* o parâmetro foi reduzido de 16 para 1, demonstrando que existe melhoria do indicador ambiental após o processo de secagem.

Em resumo, foi observado que a secagem por micro-ondas é tecnicamente viável, sendo possível a sua aplicação para diminuição da massa de lodo. Entretanto, a viabilidade financeira fica condicionada à melhoria de rendimento no sistema e ao acoplamento de tecnologias de geração de energia. Destaca-se a fonte solar como uma promissora opção para atendimento deste requisito.

8. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro. Disponível em: www.abnt.org.br.

ABNT, Associação Brasileira de Normas técnicas. **Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda — Método de ensaio com *Daphnia* spp (Crustacea, Cladocera)**. Rio de Janeiro.

ABNT, Associação Brasileira de Normas técnicas. **Ecotoxicologia Aquática - Efeito Inibitório sobre a bioluminescência de *Vibrio fischeri* Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas**. Rio de Janeiro.

AGRA, Tiago M. S.; LIMA, Victor M. E.; BASTO, Priscilla E. A.; MELO NETO, Antonio A. Characterizing and processing a kaolinite-rich water treatment sludge for use as high-reactivity pozzolan in cement manufacturing. **Applied Clay Science**, [S. l.], v. 236, 2023. DOI: 10.1016/j.clay.2023.106870.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. **Procedia Environmental Sciences**, [S. l.], v. 35, p. 950–955, 2016. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.07.088. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.088>.

AMÂNCIO, Diego Vipa; RODRIGUES, Fernando Neris; RIBEIRO, Kátia Daniela; COELHO, Gilberto. Caracterização Do Lodo Gerado Numa Estação De Tratamento De Água. **Sustentare**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 29–44, 2017.

APHA, American Public Health Association; AWWA, American Water Works Association; WEF, Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington DC: APHA Press, 2017. v. 1

BARBOZA, Ana Cláudia R. N.; CRUZ, Camila V. M. S.; GRAZIANI, Marcelo B.; LORENZETTI, Myrian C. F.; SABADINI, Edvaldo. Aquecimento em forno de micro-ondas / Desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. **Educação Química Nova**, [S. l.], v. 24, n. 6, p. 901–904, 2001.

BENNAMOUN, Lyes; CHEN, Zhenyu; AFZAL, Muhammad T. Microwave drying of wastewater sludge: Experimental and modeling study. **Drying technology**, Philadelphia, v. 34, n. 2, p. 235–243, 2016. DOI: 10.1080/07373937.2015.1040885.

CASARIN, RICARDO. Energia solar ganha espaço é a segunda fonte com maior participação na matriz elétrica brasileira. **Revista TAE**, [S. l.], v. 70, 2023.

CHEN, Guohua; YUE, Po Lock; MUJUMDAR, Arun S. Sludge dewatering and drying. **Drying Technology**, [S. l.], v. 20, n. 4–5, p. 883–916, 2002. DOI: 10.1081/DRT-120003768.

CHEN, Zhenyu; AFZAL, Muhammad T.; SALEMA, Arshad Adam. Microwave Drying of Wastewater Sewage Sludge. **Journal of Clean Energy Technologies**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 282–286, 2014. DOI: 10.7763/jocet.2014.v2.140.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar**. Brasília.

DANIEL, Luiz Antônio. **Métodos Alternativos de Desinfecção de Água**. 1. ed. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2011. v. 1 Disponível em: www.rimaeditora.com.br.

DOMÍNGUEZ, A.; MENÉNDEZ, J. Angel; INGUANZO, M.; PIS, J. J. Sewage sludge drying using microwave energy and characterization by IRTF. **Afinidad**, [S. l.], v. 61, p. 280–285, 2004.

DUBE, S.; MUCHAONYERWA, P.; MAPANDA, F.; HUGHES, J. Effects of sludge water from a water treatment works on soil properties and the yield and elemental uptake of *Brachiaria decumbens* and lucerne (*Medicago sativa*). **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 208, p. 335–343, 2018. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.06.015.

EVERARD, Mark. Meeting global drinking water needs. **Nature Sustainability**, [S. l.], v. 2, n. 5, p. 360–361, 2019. DOI: 10.1038/s41893-019-0292-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-019-0292-4>.

FATMA, FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. PORTARIA Nº 017/02 – Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. . 18 abr. 2002, p. 1–2.

FILHO, Sidney Seckler Ferreira; MIERZWA, José Carlos. **Tratamento de Águas De Abastecimento - Sedimentação Gravitacional**. São Paulo, 2019.

GARCIA, Danton Camcho; BARROS, Antonio Carlos Souza Albuquerque; PESKE, Silmar Teichert; MENEZES, Nilson Lemos. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 603–608, 2004.

GERVASONI, Ronald. **Caracterização e Avaliação do Potencial de destinação do Lodo de Estações de Tratamento de Água do Paraná**. 2014. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GUO, Jiali; ZHENG, Lei; LI, Zifu. Microwave drying behavior, energy consumption, and mathematical modeling of sewage sludge in a novel pilot-scale microwave

drying system. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 777, p. 146109, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146109. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146109>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgoto sanitário**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>.

KIRKHAM, M. B. **Structure and Properties of Water**. 2. ed. Boston: Academic Press, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420022-7.00003-3>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124200227000033>.

KOCBEK, Eva; GARCIA, Hector A.; HOOIJMANS, Christine M.; MIJATOVIĆ, Ivan; KRŽIŠNIK, Davor; HUMAR, Miha; BRDJANOVIC, Damir. Effects of the sludge physical-chemical properties on its microwave drying performance. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 828, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154142.

KOCBEK, Eva; GARCIA, Hector A.; HOOIJMANS, Christine M.; MIJATOVIĆ, Ivan; LAH, Branko; BRDJANOVIC, Damir. Microwave treatment of municipal sewage sludge: Evaluation of the drying performance and energy demand of a pilot-scale microwave drying system. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 742, p. 140541, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140541. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140541>.

LACERDA, Autores Rodrigo et al. **Destinação sustentável do lodo da ETA Sede**. Cachoeiro de Itapemirim .

LECHEVALLIER, Mark W.; AU, Kwok-Keung. **Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking-water**. London: IWA Publishing, 2013. v. 12 DOI: 10.2166/9781780405858.

LEGNER, Carla. Energia Fotovoltaica no Saneamento. **Revista TAE**, [S. l.], v. 1, n. 67, p. 1–5, 2022.

LIU, Jibao; WEI, Yuansong; LI, Kun; TONG, Juan; WANG, Yawei; JIA, Ruilai. Microwave-acid pretreatment: A potential process for enhancing sludge dewaterability. **Water Research**, [S. l.], v. 90, p. 225–234, 2016. DOI: 10.1016/j.watres.2015.12.012.

MARTINS, Fernanda Pereira; BOSCH NETO, Juan Canellas; SILVA, Alex Júnior Oliveira; SIQUEIRA, Antonio Marcos de Oliveira. Secagem: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 0600–0607i, 2020. DOI: 10.18540/jcecv16iss4pp0600-0607i.

MAWIOO, Peter M.; GARCIA, Hector A.; HOOIJMANS, Christine M.; VELKUSHANOVA, Konstantina; SIMONIČ, Marjana; MIJATOVIĆ, Ivan; BRDJANOVIC, Damir. A pilot-scale microwave technology for sludge sanitization and drying. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 601–602, p. 1437–1448, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.004.

MUJUMDAR, Arun S. **Handbook of Industrial Drying, Second Edition, Revised and Expanded**, 3. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2006. v. 1

NEHLS, Christian. A realização do plano de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos na cidade de Rio Negro, Paraná, Brasil. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 121–142, 2012.

OLIVEIRA, Nicole Santos. **Estudo da secagem de lodo de Estação de Tratamento de Água**. 2010. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development Preamble**, 2015.

PARK, Kil Jin; YADO, Maurício Kenze Moreno; BROD, Fernando Pedro Reis. ESTUDO DE SECAGEM DE PÊRA BARTLETT (*Pyrus sp.*) EM FATIAS. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 288–292, 2001.

PEREIRA, Marina Seixas. **Aplicação de secagem por microondas no tratamento de cascalho de perfuração**. 2013. tese - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

POYER-RADESTSKI, Gabriel. **Análise Técnico-Econômico-Ambiental da Implantação de um Sistema Fotovoltaico No Campus Do Instituto Federal Catarinense – Araquari (SC)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Estado de Santa Catarina. Araquari, 2021.

POZAR, David M. **Microwave Engineering**. 4. ed. [s.l.] : John Wiley & Sons, Inc, 2011.

RADOIU, Marilena; MELLO, Ariel. Technical advances, barriers, and solutions in microwave—assisted technology for industrial processing. **Chemical Engineering Research and Design**, [S. l.], v. 181, p. 331–342, 2022. DOI: 10.1016/j.cherd.2022.03.029. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.03.029>.

RICHTER, Carlos A. **ÁGUA – Métodos e Tecnologia de Tratamento**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2009. v. 1

RICHTER, Carlos A.; NETTO, José M. de Azevedo. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 1. ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1991.

RODRIGUES, Néborá. **Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos Classe II A- Não Inertes e Classe II B-Inertes**. 2005. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SANTA CATARINA. DECRETO Nº 1846, DE 20 DE DEZEMBRO DE 2018. . 20 dez. 2018, p. 1–14.

SISWOYO, Eko; MIHARA, Yoshihiro; TANAKA, Shunitz. Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water. **Applied Clay Science**, [S. l.], v. 97–98, p. 146–152, 2014. DOI: 10.1016/j.clay.2014.05.024.

SMIDERLE, Juliana Jerônimo. **Estudo De Viabilidade Para Destinação Final Do Lodo Da Eta Laranjal / RJ**. 2016. Projeto de Graduação - Universidade Federal do rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

TSANG, K. R.; VESILIND, P. A. MOISTURE DISTRIBUTION IN SLUDGES. **Water Science and Technology**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. 135–142, 1990. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article-pdf/22/12/135/100847/135.pdf>.

TURNER, Tomi; WHEELER, Rebecca; STONE, Adam; OLIVER, Ian. Potential Alternative Reuse Pathways for Water Treatment Residuals: Remaining Barriers and Questions—a Review. **Water, Air, and Soil Pollution**, [S. l.], v. 230, n. 9, 2019. DOI: 10.1007/s11270-019-4272-0.

UNESCO, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **World Water Development Report 2019**. Perugia. Disponível em: www.unesco.org/water/wwap.

USEPA, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. **The History of Drinking Water Treatment**. [s.l: s.n.].

VESILIND, P. Aarne. The Role of Water in Sludge Dewatering. **Water Environment Research**, [S. l.], v. 66, n. 1, p. 4–11, 1994. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/25044401>.

VITAL, ANDREIA. Raízen e Aegea Saneamento Firmam Parceria para Uso de energia fotovoltaica. **Jornal Cana**, Ribeirão Preto, SP, 2022.

ZONTA, João Batista; ARAUJO, Eduardo Fontes; ARAUJO, Roberto fontes; DIAS, Luiz Antônio dos Santos. Diferentes tipos de secagem do pinhão manso. **Revista Brasileira de Sementes**, [S. l.], v. 33, n. 4, p. 721–731, 2011.

9.ANEXOS

A.ANEXO 1 RESULTADOS DE CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDOS



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10876

RELATÓRIO DE ENSAIO

A_20971.2023_Rel_1_1

Interessado: COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO - CASAN - NBR
Endereço: Rua: Emílio Blum nº 83
CNPJ: 82.508.433/0001-17
IE: 251.835.880

Cidade: Florianópolis, Santa Catarina
CEP: 88.020-010
Fone: (48) 3221-5833

DADOS DO LOCAL DE AMOSTRAGEM

Protocolo: 20971.2023_Rel_1_1 **Técnico de Amostragem:** Freitag: Reinaldo Roeder Lacerda
Data Amostragem: 09/03/2023 - 12:50
Matriz: Resíduos líquidos **Data Recebimento:** 09/03/2023
Data de Emissão do Relatório: 03/04/2023
Endereço Amostragem: RUA ALFREDO BENTO DE BORBA, 958
Ponto Amostragem: -ETA - Barra Velha - Barra Velha/tanque de equalização
Plano de Amostragem: A_20971/2023
1ª Legislação: ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos - Classificação
2ª Legislação: ABNT NBR 10005:2004 - Resíduos - Lixiviação
3ª Legislação: ABNT NBR 10006:2004 - Resíduos - Solubilização

PARÂMETRO	RESULTADO	1ª LEGISLAÇÃO	2ª LEGISLAÇÃO	3ª LEGISLAÇÃO	U95%
Cryptosporidium spp	Ausência oocisto/L	-	-	-	-
Giardia spp	Ausência cisto/L	-	-	-	-
Corrosividade	Ausência -	-	-	-	-
Determinação do Ponto de Fulgor	>60 °C	-	-	-	± 0,05
Inflamabilidade	Ausência -	-	-	-	-
Massa Bruta - Cianeto	0,23 mg/L	≤ 250 mg/kg	≤ 250 mg/kg	-	-
Massa Bruta - Sulfeto	0,00 mg/L	≤ 500 mg/kg	≤ 500 mg/kg	-	-
Massa Bruta - Umidade	98,97 %	-	-	-	-
Ovos de Helmintos	Ausência Ovos/mL	-	-	-	-
Patogenicidade	Ausência -	-	-	-	-
Reatividade	Ausência -	-	-	-	-
Toxicidade	Não Tóxico -	-	-	-	-
Vírus Entéricos (Enterovirus) - Determinação pelo método cultura celular	Ausência 100 mL	-	-	-	-

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.1/2

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 068 Amostragem p/ Sólidos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem Águas p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site de Freitag na internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.


Dr. Guilherme Freitag
Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital


Eng. Química Délis Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital

RELATÓRIO DE ENSAIO

A_20971.2023_Rel_1_1

DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
<i>Cryptosporidium</i> spp	Ausência	-	Ausência	-	Microscopia Direta	31/03/2023	31/03/2023
<i>Giardia</i> spp	Ausência	-	Ausência	-	Microscopia Direta	31/03/2023	31/03/2023
Corrosividade	-	-	Ausência	-	ABNT NBR 10004:2004	16/03/2023	16/03/2023
Determinação do Ponto de Fulgor	-	-	>60	25 a 60	PR-Tb-FQ 403	16/03/2023	16/03/2023
Inflamabilidade	-	-	Ausência	-	PR-Tb-FQ 403/ ABNT NBR 10004:2004	16/03/2023	16/03/2023
Massa Bruta - Cianeto	-	-	0,23	-	PR-Tb-FQ 175	17/03/2023	17/03/2023
Massa Bruta - Sulfeto	-	-	0,00	-	PR - Tb FQ 181	28/03/2023	28/03/2023
Massa Bruta - Umidade	0,01	-	98,97	-	PR-Tb-FQ 024	17/03/2023	17/03/2023
Ovos de Helminetos	Ausência	-	Ausência	-	PR-Tb-MB 080	31/03/2023	31/03/2023
Patogenicidade	N/A	-	Ausência	-	ABNT NBR 10004:2004	31/03/2023	31/03/2023
Reatividade	-	-	Ausência	-	ABNT NBR 10004	16/03/2023	16/03/2023
Toxicidade	-	-	Não Tóxico	-	ABNT NBR 10004	20/03/2023	30/03/2023
Vírus Enterícos (Enterovírus) - Determinação pelo método cultura celular	Ausência	-	Ausência	-	SMWW 23ª edição, Método 9510 B, C, F e G / PR-Tb MB 107	15/03/2023	30/03/2023

Declaração de Conformidade:

O Freitag Laboratórios possui como regra de decisão não considerar a(s) incerteza(s) de medição do(s) ensaio(s) na elaboração da Declaração de Conformidade.

De acordo com a(s) legislação(ões) ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos - Classificação, ABNT NBR 10005:2004 - Resíduos - Lixiviação e ABNT NBR 10006:2004 - Resíduos - Solubilização, fica constatado que o resíduo classifica-se como Classe II A - NÃO INERTE.

Relatório de Ensaio revisado e liberado por: Délis Wolter Hansen/Gestora de Processos

Código Ordem Serviço: A_20971.2023

Chave de autenticação: Z9B-WNQC-6ZZ

Verifique a autenticidade deste documento no seguinte endereço: <http://www.freitag.com.br>

Consulte nossas certificações e escopo acreditado no site: www.freitag.com.br

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.2/2

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Sólidos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 008 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem água p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site de Freitag na Internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

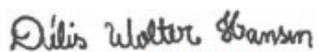
Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.



Dr. Guilherme Freitag
Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital


Eng. Química Délis Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10876



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

Interessado: COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO - CASAN - NBR
Endereço: Rua: Emílio Blum nº 83
CNPJ: 82.508.433/0001-17
IE: 251.835.880

Cidade: Florianópolis, Santa Catarina
CEP: 88.020-010
Fone: (48) 3221-5833

DADOS DO LOCAL DE AMOSTRAGEM

Protocolo: 20971.2023_Rel_1_1

Técnico de Amostragem: Freitag: Reinaldo Roeder Lacerda

Matriz: Resíduos líquidos

Data Amostragem: 09/03/2023 - 12:50

Data Recebimento: 09/03/2023

Data de Emissão do Relatório: 03/04/2023

Endereço Amostragem: RUA ALFREDO BENTO DE BORBA, 958

Ponto Amostragem: -ETA - Barra Velha - Barra Velha/tanque de equalização

Plano de Amostragem: A_20971/2023

1ª Legislação: ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos - Classificação

2ª Legislação: ABNT NBR 10005:2004 - Resíduos - Lixiviação

3ª Legislação: ABNT NBR 10006:2004 - Resíduos - Solubilização

PARÂMETRO	RESULTADO	1ª LEGISLAÇÃO	2ª LEGISLAÇÃO	3ª LEGISLAÇÃO	U95%
Aspecto	Homogêneo -	-	-	-	-
Densidade	1,0130 g/mL	-	-	-	-
Determinação de pH p/ Potenciometria	7,23 -	entre 2 e 12,5 pH a 25°C	-	-	± 0,02
Determinação de pH p/ Potenciometria (Lixiviado)	4,63 -	-	-	-	± 0,02
Determinação de pH p/ Potenciometria (Solubilizado)	6,20 -	-	-	-	± 0,02
Lixiviado - 1,1- Dicloroetileno	< 0,001 mg/L	-	≤ 3,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - 1,2- Dicloroetano	< 0,001 mg/L	-	≤ 1,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - 1,4- Diclorobenzeno	< 0,001 mg/L	-	≤ 7,5 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - 2,4,5- Triclorofenol	< 0,00005 mg/L	-	≤ 400,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - 2,4,5-T	< 0,00005 mg/L	-	≤ 0,2 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - 2,4,5-TP	< 0,00005 mg/L	-	≤ 1,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - 2,4,6- Triclorofenol	< 0,00005 mg/L	-	≤ 20,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - 2,4- Dinitrotolueno	< 0,001 mg/L	-	≤ 0,13 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - 2,4-D	< 0,00005 mg/L	-	≤ 3,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - Aldrin+Dieldrin	< 0,000005 mg/L	-	≤ 0,003 mg/L	-	± 0,000001
Lixiviado - Arsênio	< 0,001 mg As/L	-	≤ 1,0 mg/L	-	± 0,0005

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.1/10

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem Águas p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site de Freitag na Internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.


Dr. Guilherme Freitag
Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital


Eng. Química Délis Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10876



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

PARÂMETRO	RESULTADO	1ª LEGISLAÇÃO	2ª LEGISLAÇÃO	3ª LEGISLAÇÃO	U95%
Lixiviado - Bário	0,279 mg Ba/L	-	≤ 70,0 mg/L	-	± 0,005
Lixiviado - Benzeno	< 0,001 mg/L	-	≤ 0,5 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Benzo(a)pireno	< 0,00005 mg/L	-	≤ 0,07 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - Cádmio	< 0,0005 mg Cd/L	-	≤ 0,5 mg/L	-	± 0,0001
Lixiviado - Chumbo	< 0,005 mg Pb/L	-	≤ 1,0 mg/L	-	± 0,002
Lixiviado - Clordano (cis+trans)	< 0,000005 mg/L	-	≤ 0,02 mg/L	-	± 0,000001
Lixiviado - Cloreto de Vinila	< 0,001 mg/L	-	≤ 0,5 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Clorobenzeno	< 0,001 mg/L	-	≤ 100 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Clorofórmio	< 0,001 mg/L	-	≤ 6,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Cresóis	< 0,00005 mg/L	-	≤ 200,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - Cromo	< 0,005 mg Cr/L	-	≤ 6,0 mg/L	-	± 0,001
Lixiviado - DDD	< 0,00005 mg/L	-	Vide(**)	-	± 0,00001
Lixiviado - DDE	< 0,00005 mg/L	-	Vide(**)	-	± 0,00001
Lixiviado - DDT	< 0,00005 mg/L	-	Vide(**)	-	± 0,00001
Lixiviado - Endrin	< 0,000005 mg/L	-	≤ 0,06 mg/L	-	± 0,000001
Lixiviado - Fluoretos	1,40 mg F-/L	-	≤ 150,0 mg/L	-	± 0,04
Lixiviado - Heptacloro Epóxido+Heptacloro	< 0,000005 mg/L	-	≤ 0,003 mg/L	-	± 0,000001
Lixiviado - Hexaclorobenzeno	< 0,001 mg/L	-	≤ 0,1 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Hexaclorobutadieno	< 0,001 mg/L	-	≤ 0,5 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Hexacloroetano	< 0,001 mg/L	-	≤ 3,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Lindano (Gama BHC)	< 0,000005 mg/L	-	≤ 0,2 mg/L	-	± 0,000001
Lixiviado - m- Cresol	< 0,00005 mg/L	-	≤ 200,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - Mercúrio	< 0,0001 mg Hg/L	-	≤ 0,1 mg/L	-	± 0,00005
Lixiviado - Metiletilcetona	< 0,001 mg/L	-	≤ 200,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Metoxicloro	< 0,00005 mg/L	-	≤ 2,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - Nitrobenzeno	< 0,001 mg/L	-	≤ 2,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - o- Cresol	< 0,00005 mg/L	-	≤ 200,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - p- Cresol	< 0,00005 mg/L	-	≤ 200,0 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - Pentaclorofenol	< 0,00005 mg/L	-	≤ 0,9 mg/L	-	± 0,00001

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 22.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.2/10

Nota 03. Os resultados referem-se estritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 063 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadela de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem Iguares p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados obtidos.

Dr. Guilherme Freitag
Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital

Délio Wolter Hansen
Eng. Química Délio Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP : 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4663 | CRF/SC: 10876



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

PARÂMETRO	RESULTADO	1ª LEGISLAÇÃO	2ª LEGISLAÇÃO	3ª LEGISLAÇÃO	U95%
Lixiviado - Piridina	< 0,001 mg/L	-	≤ 5,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Prata	< 0,001 mg Ag/L	-	≤ 5,0 mg/L	-	± 0,0005
Lixiviado - Selênio	< 0,005 mg Se/L	-	≤ 1,0 mg/L	-	± 0,002
Lixiviado - Tetracloreto de Carbono	< 0,001 mg/L	-	≤ 0,2 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Tetracloroetileno	< 0,001 mg/L	-	≤ 4,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Toxafeno	< 0,00005 mg/L	-	≤ 0,5 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - Tricloroetileno	< 0,001 mg/L	-	≤ 7,0 mg/L	-	± 0,0000232
Solubilizado - 2,4,5-T	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,002 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - 2,4,5-TP	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,03 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - 2,4-D	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,03 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - Aldrin+Dieldrin	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,00003 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - Alumínio	70,713 mg Al/L	-	-	≤ 0,2 mg/L	± 0,005
Solubilizado - Arsênio	< 0,001 mg As/L	-	-	≤ 0,01 mg/L	± 0,0005
Solubilizado - Bário	0,279 mg Ba/L	-	-	≤ 0,7 mg/L	± 0,005
Solubilizado - Cádmio	< 0,0005 mg Cd/L	-	-	≤ 0,005 mg/L	± 0,0001
Solubilizado - Chumbo	< 0,005 mg Pb/L	-	-	≤ 0,01 mg/L	± 0,002
Solubilizado - Cianeto Total	0,230 mg CN - /L	-	-	≤ 0,07 mg CN - /L	± 0,042
Solubilizado - Clordano (cis+trans)	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,0002 mg/L	± 0,000001
Solubilizado - Cloretos	60,41 mg Cl-/L	-	-	≤ 250,0 mg Cl-/L	± 0,08
Solubilizado - Cobre	< 0,015 mg Cu/L	-	-	≤ 2,0 mg/L	± 0,001
Solubilizado - Cromo	< 0,005 mg Cr/L	-	-	≤ 0,05 mg/L	± 0,001
Solubilizado - DDD	< 0,00005 mg/L	-	-	Vide(**)	± 0,00001
Solubilizado - DDE	< 0,00005 mg/L	-	-	Vide(**)	± 0,00001
Solubilizado - DDT	< 0,00005 mg/L	-	-	Vide(**)	± 0,00001
Solubilizado - Endrin	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,0006 mg/L	± 0,000001
Solubilizado - Fenóis Totais	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,01 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - Ferro	488,958 mg Fe/L	-	-	≤ 0,3 mg/L	± 0,003
Solubilizado - Fluoretos	<0,10 mg F-/L	-	-	≤ 1,5 mg/L	± 0,04
Solubilizado - Heptacloro Epóxido+Heptacloro	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,00003 mg/L	± 0,000001

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.3/10

Nota 03. Os resultados referem-se estritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 063 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem Iguares p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.

Dr. Guilherme Freitag
Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital

Délis Wolter Hansen
Eng. Química Délis Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4663 | CRF/SC: 10876



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

PARÂMETRO	RESULTADO	1ª LEGISLAÇÃO	2ª LEGISLAÇÃO	3ª LEGISLAÇÃO	U95%
Lixiviado - Piridina	< 0,001 mg/L	-	≤ 5,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Prata	< 0,001 mg Ag/L	-	≤ 5,0 mg/L	-	± 0,0005
Lixiviado - Selênio	< 0,005 mg Se/L	-	≤ 1,0 mg/L	-	± 0,002
Lixiviado - Tetracloroeto de Carbono	< 0,001 mg/L	-	≤ 0,2 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Tetracloroetileno	< 0,001 mg/L	-	≤ 4,0 mg/L	-	± 0,0000232
Lixiviado - Toxafeno	< 0,00005 mg/L	-	≤ 0,5 mg/L	-	± 0,00001
Lixiviado - Tricloroetileno	< 0,001 mg/L	-	≤ 7,0 mg/L	-	± 0,0000232
Solubilizado - 2,4,5-T	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,002 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - 2,4,5-TP	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,03 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - 2,4-D	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,03 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - Aldrin+Dieldrin	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,00003 mg/L	± 0,000001
Solubilizado - Alumínio	70,713 mg Al/L	-	-	≤ 0,2 mg/L	± 0,005
Solubilizado - Arsênio	< 0,001 mg As/L	-	-	≤ 0,01 mg/L	± 0,0005
Solubilizado - Bário	0,279 mg Ba/L	-	-	≤ 0,7 mg/L	± 0,005
Solubilizado - Cádmio	< 0,0005 mg Cd/L	-	-	≤ 0,005 mg/L	± 0,0001
Solubilizado - Chumbo	< 0,005 mg Pb/L	-	-	≤ 0,01 mg/L	± 0,002
Solubilizado - Cianeto Total	0,230 mg CN - /L	-	-	≤ 0,07 mg CN - /L	± 0,042
Solubilizado - Clordano (cis+trans)	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,0002 mg/L	± 0,000001
Solubilizado - Cloretos	60,41 mg Cl-/L	-	-	≤ 250,0 mg Cl-/L	± 0,08
Solubilizado - Cobre	< 0,015 mg Cu/L	-	-	≤ 2,0 mg/L	± 0,001
Solubilizado - Cromo	< 0,005 mg Cr/L	-	-	≤ 0,05 mg/L	± 0,001
Solubilizado - DDD	< 0,00005 mg/L	-	-	Vide(**)	± 0,00001
Solubilizado - DDE	< 0,00005 mg/L	-	-	Vide(**)	± 0,00001
Solubilizado - DDT	< 0,00005 mg/L	-	-	Vide(**)	± 0,00001
Solubilizado - Endrin	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,0006 mg/L	± 0,000001
Solubilizado - Fenóis Totais	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,01 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - Ferro	488,958 mg Fe/L	-	-	≤ 0,3 mg/L	± 0,003
Solubilizado - Fluoretos	< 0,10 mg F-/L	-	-	≤ 1,5 mg/L	± 0,04
Solubilizado - Heptacloro Epóxido+Heptacloro	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,00003 mg/L	± 0,000001

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.3/10

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem água p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.

Dr. Guilherme Freitag
Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital

Délio Wolter Hansen
Eng. Química Délio Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10876



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

PARÂMETRO	RESULTADO	1ª LEGISLAÇÃO	2ª LEGISLAÇÃO	3ª LEGISLAÇÃO	U95%
Solubilizado - Hexaclorobenzeno	< 0,001 mg/L	-	-	≤ 0,001 mg/L	± 0,0000232
Solubilizado - Lindano (Gama BHC)	< 0,000005 mg/L	-	-	≤ 0,002 mg/L	± 0,000001
Solubilizado - Manganês	2,839 mg Mn/L	-	-	≤ 0,1 mg/L	± 0,001
Solubilizado - Mercúrio	< 0,0001 mg Hg/L	-	-	≤ 0,001 mg/L	± 0,00005
Solubilizado - Metoxicloro	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,02 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - Nitrato (como N)	13,80 mg/L NO ₃ -N	-	-	≤ 10,0 mg/L	± 0,09
Solubilizado - Prata	< 0,001 mg Ag/L	-	-	≤ 0,05 mg/L	± 0,0005
Solubilizado - Selênio	< 0,005 mg Se/L	-	-	≤ 0,01 mg/L	± 0,002
Solubilizado - Sódio	10,495 mg Na/L	-	-	≤ 200,0 mg/L	± 0,005
Solubilizado - Sulfato	14,00 mg/L	-	-	≤ 250,0 mg/L	± 1,76
Solubilizado - Surfactantes Aniônicos	<0,100 mg/L	-	-	≤ 0,5 mg/L	± 0,041
Solubilizado - Toxafeno	< 0,00005 mg/L	-	-	≤ 0,005 mg/L	± 0,00001
Solubilizado - Zinco	0,104 mg Zn/L	-	-	≤ 5,0 mg/L	± 0,005
Teor de Sólidos Secos	1,03 %	-	-	-	-

DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
Aspecto	-	-	Homogêneo	-	PR-Tb-FQ 017	16/03/2023	16/03/2023
Densidade	-	-	1,0130	-	PR-Tb-FQ 017	16/03/2023	16/03/2023
Determinação de pH p/ Potenciometria	-	-	7,23	2 a 12,5	PR-Tb-FQ 177/PR-Tb-FQ 358	16/03/2023	16/03/2023
Determinação de pH p/ Potenciometria (Lixiviado)	-	-	4,63	2 a 12,5	PR-Tb-FQ 177/ABNT NBR 10005: 2004	31/03/2023	31/03/2023
Determinação de pH p/ Potenciometria (Solubilizado)	-	-	6,20	2 a 12,5	PR-Tb-FQ 177/ABNT NBR 10006: 2004	28/03/2023	28/03/2023
Lixiviado - 1,1- Dicloroetileno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - 1,2- Dicloroetano	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - 1,4- Diclorobenzeno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.4/10

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Sólidos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 128 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 008 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem água p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas e eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.


Dr. Guilherme Freitag
Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital


Eng. Química Délis Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10675



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
Lixiviado - 2,4,5- Triclorofenol	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - 2,4,5-T	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - 2,4,5-TP	0,00005	0,00002	não detectado	-	ABNT NBR 10005:2004/EPA 3510 C:1996/EPA 8270 D:2014	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - 2,4,6- Triclorofenol	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - 2,4- Dinitrotolueno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - 2,4-D	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Aldrin+Dieldrin	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Arsênio	0,001	0,0007	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Lixiviado - Bário	0,051	0,050	0,279	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Lixiviado - Benzeno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Benzo(a)pireno	0,00005	0,00003	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Cádmio	0,0005	0,0003	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Lixiviado - Chumbo	0,005	0,005	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Lixiviado - Clordano (cis+trans)	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Cloreto de Vinila	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Clorobenzeno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Clorofórmio	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.5/10

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragem conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem Águas p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.

Dr. Guilherme Freitag

Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital

Délio Wolter Hansen
Eng. Química Délio Wolter Hansen

Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
 Timboá/SC - CEP: 89120-000
 (47) 3399-0432
 freitag@freitag.com.br
 freitag.com.br
 CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10676



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
Lixiviado - Cresóis	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Cromo	0,005	0,005	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Lixiviado - DDD	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - DDE	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - DDT	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Endrin	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Fluoretos	0,10	0,02	1,40	-	PR-Tb FQ 176/PR-Tb FQ 358/ABNT NBR 10006:2004/ABNT NBR 10005:2004	21/03/2023	21/03/2023
Lixiviado - Heptacloro Epóxido+Heptacloro	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Hexaclorobenzeno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Hexaclorobutadieno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Hexacloroetano	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Lindano (Gama BHC)	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - m- Cresol	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Mercúrio	0,0001	0,00008	não detectado	-	PR-Tb IN 010/ ABNT NBR 10006:2004/ ABNT NBR 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Lixiviado - Metilacetona	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Metoxicloro	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Nitrobenzeno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.6/10

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 128 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 063 Amostragem água p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Infamet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas e eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.


 Dr. Guilherme Freitag
 Diretor Técnico
 CRF/SC 6672
 assinatura digital


 Eng. Química Délis Wolter Hansen
 Gestora de Processos
 CRQ/SC 13303449
 assinatura digital

		Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial Timbó/SC - CEP: 89120-000 (47) 3399-0432 freitag@freitag.com.br freitag.com.br CRQ/SC: 4653 CPF/SC: 10876					
RELATÓRIO DE ENSAIO			A_IN_20971.2023_Rel_1_1				
DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO							
PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
Lixiviado - o- Cresol	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - p- Cresol	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Pentaclorofenol	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Piridina	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Prata	0,001	0,0008	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Lixiviado - Selênio	0,005	0,005	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Lixiviado - Tetracloreto de Carbono	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Tetracloroetileno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Lixiviado - Toxafeno	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Lixiviado - Tricloroetileno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Solubilizado - 2,4,5-T	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - 2,4,5-TP	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - 2,4-D	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Aldrin+Dieldrin	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Alumínio	0,050	0,015	70,713	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Arsênio	0,001	0,0007	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Bário	0,051	0,050	0,279	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.
 Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.
 Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.
 Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 068 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem água p/ saúde humana.
 Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.
 Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com oponente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site de Freitag na internet.
 Nota 07. UR5 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.
 Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.
 Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.
 Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.


Dr. Guilherme Freitag
 Diretor Técnico
 CRF/SC 6672
 assinatura digital


Eng. Química Délis Wolter Hansen
 Gestora de Processos
 CRQ/SC 13303449
 assinatura digital



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10876



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
Solubilizado - Cádmio	0,0005	0,0003	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Chumbo	0,005	0,005	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Cianeto Total	0,010	0,002	0,230	-	PR-Tb FQ 175/PR-Tb FQ 358/ABNT NBR 10006:2004/ABNT NBR 10005:2004	17/03/2023	17/03/2023
Solubilizado - Clordano (cis+trans)	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Cloretos	5,00	1,02	60,41	-	PR-Tb FQ 164/PR-Tb FQ 358/ABNT NBR 10006:2004/ABNT NBR 10005:2004	22/03/2023	22/03/2023
Solubilizado - Cobre	0,015	0,013	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Cromo	0,005	0,005	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - DDD	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - DDE	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - DDT	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Endrin	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Fenóis Totais	0,00005	0,00002	não detectado	-	AEPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Ferro	0,014	0,012	488,958	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Fluoretos	0,10	0,02	0,00	-	PR-Tb FQ 176/PR-Tb FQ 358/ABNT NBR 10006:2004/ABNT NBR 10005:2004	16/03/2023	16/03/2023
Solubilizado - Heptacloro Epóxido+Heptacloro	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Hexaclorobenzeno	0,001	0,0005	não detectado	-	EPA Method 5021 A:2014, 8260 D:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	25/03/2023	25/03/2023
Solubilizado - Lindano (Gama BHC)	0,000005	0,000002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.8/10

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeira de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 063 Amostragem Igua p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Internet.

Nota 07. 95% - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dadas fornecidas pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.

Dr. Guilherme Freitag

Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital

Délio Wolter Hansen
Eng. Química Délio Wolter Hansen

Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital

		Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial Timbó/SC - CEP: 89120-000 (47) 3399-0432 freitag@freitag.com.br freitag.com.br CRQ/SC: 4653 CRF/SC: 10876					
RELATÓRIO DE ENSAIO						A_IN_20971.2023_Rel_1_1	
DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO							
PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
Solubilizado - Manganês	0,013	0,011	2,839	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Mercúrio	0,0001	0,00008	não detectado	-	PR-Tb IN 010 / ABNT NBR 10006:2004 / ABNT NBR 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Metoxicloro	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Nitrato (como N)	0,45	0,10	13,80	-	PR-Tb FQ 170/ PR-Tb FQ 358/ ABNT NBR 10006:2004/ ABNT NBR 10005:2004	21/03/2023	21/03/2023
Solubilizado - Prata	0,001	0,0008	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Selênio	0,005	0,005	não detectado	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Sódio	0,050	0,015	10,495	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Solubilizado - Sulfato	3,82	1,20	14,00	-	PR-Tb FQ 180/PR-Tb FQ 358/ABNT NBR 10006:2004/ABNT NBR 10005:2004	23/03/2023	23/03/2023
Solubilizado - Surfactantes Aniônicos	0,100	0,015	0,000	-	PR-Tb FQ 033/PR-Tb FQ 358/ABNT NBR 10006:2004/ABNT NBR 10005:2004	28/03/2023	28/03/2023
Solubilizado - Toxafeno	0,00005	0,00002	não detectado	-	EPA Method 3510 C:1996, 8270 E:2018, ABNT NBR 10005:2004, 10006:2004	20/03/2023	30/03/2023
Solubilizado - Zinco	0,066	0,057	0,104	-	SMWW 23ª edição, Método 3120 B, ABNT NBR 10006:2004, 10005:2004	15/03/2023	31/03/2023
Teor de Sólidos Secos	-	-	1,03	0,1 a 100	PR-Tb-FQ 024	16/03/2023	17/03/2023
** 2ª Legislação	Lixiviado - DDD - DDT+DDD+DDE inferior a 0,2mg/L Lixiviado - DDE - DDT+DDD+DDE inferior a 0,2mg/L Lixiviado - DDT - DDT+DDD+DDE inferior a 0,2mg/L						
** 3ª Legislação	Solubilizado - DDD - DDT+DDD+DDE inferior a 0,002mg/L Solubilizado - DDE - DDT+DDD+DDE inferior a 0,002mg/L Solubilizado - DDT - DDT+DDD+DDE inferior a 0,002mg/L						
Declaração de Conformidade:							
O Freitag Laboratórios possui como regra de decisão não considerar a(s) incerteza(s) de medição do(s) ensaio(s) na elaboração da Declaração de Conformidade. De acordo com a(s) legislação(ões) ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos - Classificação, ABNT NBR 10005:2004 - Resíduos - Lixiviação e ABNT NBR 10006:2004 - Resíduos - Solubilização, fica constatado que o resíduo classifica-se como Classe II A - NÃO INERTE.							
<p>Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.</p> <p>Nota 02. LQ - Limite de Quantificação. FPR-Tb-154, rev 03 Pag.9/10</p> <p>Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.</p> <p>Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Sólidos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 128 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem Igua p/ saúde humana.</p> <p>Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.</p> <p>Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Internet.</p> <p>Nota 07. 95% - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.</p> <p>Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.</p> <p>Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.</p> <p>Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.</p> <p>Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.</p>							
 Dr. Guilherme Freitag Diretor Técnico CRF/SC 6672 assinatura digital			 Eng. Química Délis Wolter Hansen Gestora de Processos CRQ/SC 13303449 assinatura digital				



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
 Timbó/SC - CEP: 89120-000
 (47) 3399-0432
 freitag@freitag.com.br
 freitag.com.br
 CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10876



RELATÓRIO DE ENSAIO

A_IN_20971.2023_Rel_1_1

Relatório de Ensaio revisado e liberado por: Délis Wolter Hansen/Gestora de Processos
Código Ordem Serviço: A_20971.2023
Chave de autenticação: Z9B-WNQC-6ZZ

Verifique a autenticidade deste documento no seguinte endereço: <http://www.freitag.com.br>

Consulte nossas certificações e escopo acreditado no site: www.freitag.com.br

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.10/10

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 128 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem águas p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na internet.

Nota 07. UPS % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.


Dr. Guilherme Freitag
 Diretor Técnico
 CRF/SC 6672
 assinatura digital


Eng. Química Délis Wolter Hansen
 Gestora de Processos
 CRQ/SC 13303449
 assinatura digital

RELATÓRIO DE ENSAIO IN_4160.2023_AR_1_1.E

Ensaio de toxicidade aguda com <i>Daphnia magna</i> - A-EC-009	
Código Amostra	IN_4160.2023_AR_1_1
Idade dos organismos	2 h a 26 h
Temperatura	18 °C a 22 °C
Período de exposição	48 h
Água de diluição	Reconstituída - Meio M4
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	175 a 225
pH	7,6 a 8,0
Fotoperíodo	Escuro
Alimentação	Nenhuma
Efeito observado	Imobilidade/Mortalidade
Número de organismos/réplica	10
Número de replicatas	2
Número de diluições	5
Lote dos organismos	187 a 256/23
Lote da água de diluição	181/23
Tratamento na amostra	-
Data/Hora início ensaio	26/08/2023 - 09:00
Data/Hora encerramento ensaio	28/08/2023 - 09:05

Agente Teste (mL)	Água de diluição (mL)	Fator de diluição	Concentração do teste (%)	Nro. de Daphnias imóveis (48h)	Porcentagem de imobilidade
0,00	0,00	Controle	0	0	0
80,00	0,00	1	100	19	95
40,00	40,00	2	50	19	95
20,00	60,00	4	25	18	90
10,00	70,00	8	12,5	5	25
5,00	75,00	16	6,25	0	0

Fator de Toxicidade: 16
 Responsável: Samille e Martina

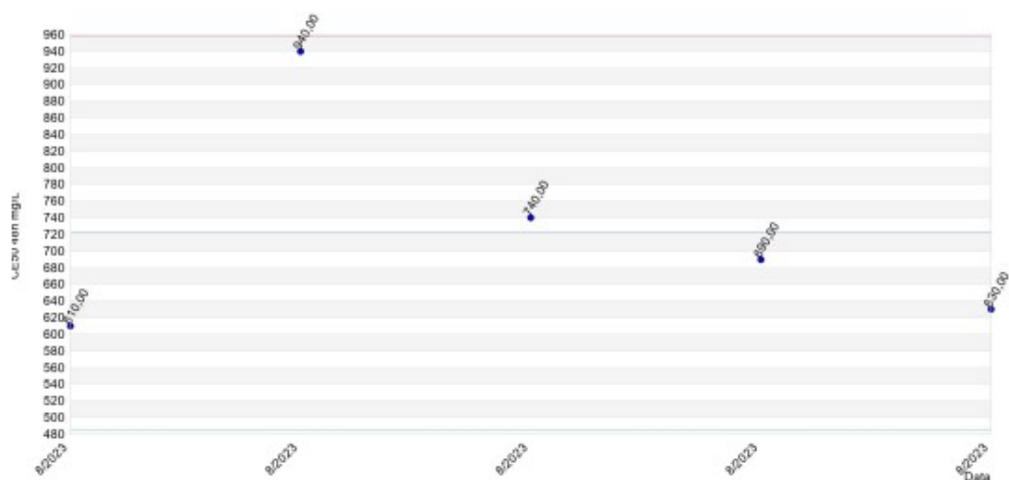
Parâmetros Físico-Químicos					
Concentração	OD (mg/L)		pH		
	Inicial	Final	Inicial	Final	
Controle	8.10	7.70	7.20	7.80	
Maior FT: 16	6.80	6.50	7.60	7.60	
Menor FT: 1	7.30	6.40	7.60	7.60	

RELATÓRIO DE ENSAIO IN_4160.2023_AR_1_1.E

Carta de Sensibilidade de *Daphnia magna* - A-EC-002

Setor: Laboratório de Ecotoxicologia

Este documento informa a sensibilidade do organismo-teste ao Cloreto de Potássio, conforme ABNT NBR 12713:2022.



RELATÓRIO DE ENSAIO IN_4160.2023_AR_1_1.E

Ensaio de toxicidade aguda com *Vibrio fischeri* - A-EC-008

Data do ensaio: 24/08/2023

Dr. Lange LUMISsoft 4
Evaluation G1 test

 Measurement: **6443 283073 (24/08/23) G1**

 Sample: **Água Residual** Date: **25.08.2023**
 Sample No.: **283073**

 Test concentration: 100,00 Operator: Eliane
 Dimension: % Batch: 239
 Type of dilution series: geometric Instrument type or No.:
 No of dilution levels: 5 Time: 30 min
 Predilution: 1,00 Comment:
 (1 = no dilution) Sensibilidade Fenol: 53,24%

Values:

Conc.	G-value	lo	lt	lct	Ht	Inhib.t aver.	Valid
K	K	9397,00	8636,00	8684,1366	0,6		0,5543
		9415,00	8749,00	8700,7712	-0,6	0	Yes
80,00	1	8748,00	3632,00	8084,3703	55,1		0,9954
		8845,00	3835,00	8174,0118	53,1	54,08	Yes
K	K	6381,00	5898,00	5901,2628	0,1		0,0553
		6455,00	5973,00	5969,6993	-0,1	0	Yes
6,25	16	5611,00	5167,00	5189,1531	0,4		1,6252
		5843,00	5205,00	5403,7108	3,7	2,05	Yes
12,50	8	5862,00	5042,00	5421,2823	7,0		0,4965
		5796,00	4932,00	5360,2444	8,0	7,49	Yes
25,00	4	6118,00	4694,00	5658,0357	17,0		0,4683
		6176,00	4792,00	5711,6752	16,1	16,57	Yes
50,00	2	6033,00	4033,00	5579,4262	27,7		1,1414
		5886,00	4059,00	5443,478	25,4	26,58	Yes

Correction factor 1

 Correction 1: 0,919 fK: 0,9241 % Difference: 0,5512
 Correction 1: 0,929 Valid: Yes Valid: Yes

Correction factor 2

 Correction 1: 0,924 fK: 0,9248 % Difference: 0,0553
 Correction 1: 0,925 Valid: Yes Valid: Yes

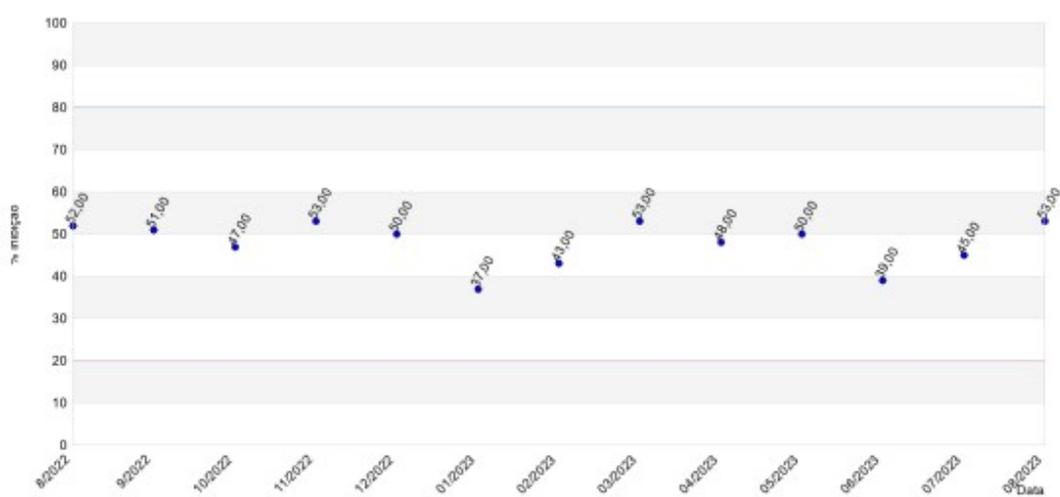
 lo aver.: 6897,5714 **GL: 4** **DIN valid: Yes**
EC 50: n.c.

RELATÓRIO DE ENSAIO IN_4160.2023_AR_1_1.E

Carta de Sensibilidade de *Vibrio fischeri* - A-EC-003

Setor: Laboratório de Ecotoxicologia

Este documento informa a sensibilidade do organismo-teste ao Fenol, conforme ABNT NBR 15411-3:2021.



RELATÓRIO DE ENSAIO IN_4161.2023_AR_2_1.E

Ensaio de toxicidade aguda com <i>Daphnia magna</i> - A-EC-009	
Código Amostra	IN_4161.2023_AR_2_1
Idade dos organismos	2 h a 26 h
Temperatura	18 °C a 22 °C
Período de exposição	48 h
Água de diluição	Reconstituída - Meio M4
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	175 a 225
pH	7,6 a 8,0
Fotoperíodo	Escuro
Alimentação	Nenhuma
Efeito observado	Imobilidade/Mortalidade
Número de organismos/réplica	10
Número de replicatas	2
Número de diluições	5
Lote dos organismos	187 a 256/23
Lote da água de diluição	181/23
Tratamento na amostra	-
Data/Hora início ensaio	26/08/2023 - 09:00
Data/Hora encerramento ensaio	28/08/2023 - 09:05

Agente Teste (mL)	Água de diluição (mL)	Fator de diluição	Concentração do teste (%)	Nro. de Daphnias imóveis (48h)	Porcentagem de imobilidade
0.00	0.00	Controle	0	0	0
80.00	0.00	1	100	0	0
40.00	40.00	2	50	0	0
20.00	60.00	4	25	0	0
10.00	70.00	8	12,5	0	0
5.00	75.00	16	6,25	0	0

Fator de Toxicidade: 1
 Responsável: Samille e Martina

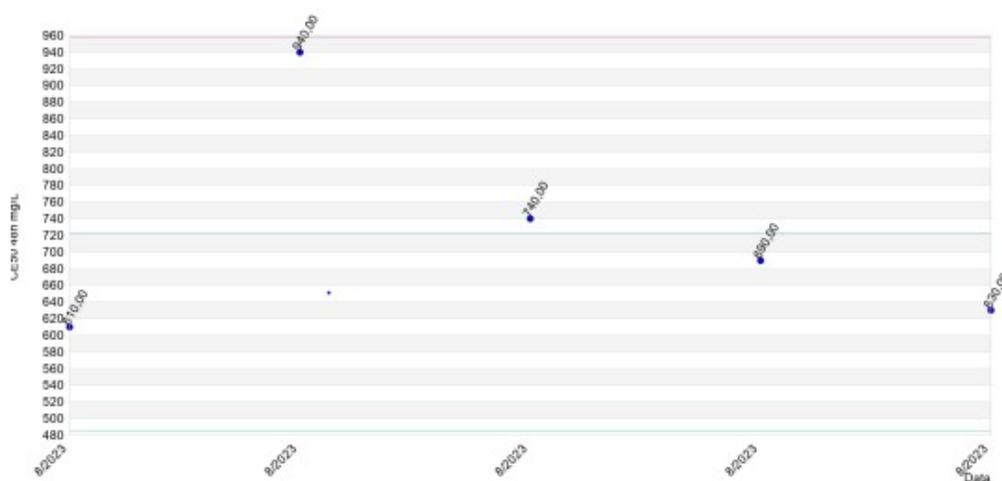
Concentração	OD (mg/L)		pH	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Controle	8.10	7.70	7.20	7.80
Maior FT: 16	7.40	6.10	7.70	8.50
Menor FT: 1	7.10	6.20	7.90	8.70

RELATÓRIO DE ENSAIO IN_4161.2023_AR_2_1.E

Carta de Sensibilidade de *Daphnia magna* - A-EC-002

Setor: Laboratório de Ecotoxicologia

Este documento informa a sensibilidade do organismo-teste ao Cloreto de Potássio, conforme ABNT NBR 12713:2022.



RELATÓRIO DE ENSAIO IN_4161.2023_AR_2_1.E

Ensaio de toxicidade aguda com *Vibrio fischeri* - A-EC-008

Data do ensaio: 24/08/2023

Dr. Lange LUMISsoft 4
Evaluation G1 test

Measurement: 6443 283074 (24/08/23) G1

 Sample: **Água Residual**
 Sample No.: 283074

Date: 24.08.2023

 Test concentration: 100,00
 Dimension: %
 Type of dilution series: geometric
 No of dilution levels: 7
 PreDilution: 1,00
 (1 = no dilution)

 Operator: Eliane
 Batch: 239
 Instrument type or No.:
 Time: 30 min
 Comment:
 Sensibilidade Fenol: 53,24%

Values:

Conc.	G-value	lo	lt	lct	Ht	Inhib.t aver.	Valid
K	K	9272,00	8455,00	8461,4607	0,1		0,0784
		9052,00	8267,00	8260,8926	-0,1	0	Yes
80,00	1	8747,00	5716,00	7982,3551	28,4		0,3089
		8613,00	5677,00	7860,0691	27,8	28,08	Yes
K	K	8453,00	7829,00	7673,1436	-2,0		2,0312
		8564,00	7616,00	7773,903	2,0	0	Yes
1,5625	64	8729,00	7118,00	7923,6804	10,2		0,4772
		8579,00	7070,00	7787,5191	9,2	9,69	Yes
3,125	32	8876,00	6960,00	8057,1185	13,6		0,0198
		8741,00	6851,00	7934,5733	13,7	13,64	Yes
6,25	16	8171,00	6767,00	7417,1604	8,8		0,265
		8390,00	6908,00	7615,9559	9,3	9,03	Yes
12,50	8	8366,00	7083,00	7594,1701	6,7		0,6492
		8455,00	7258,00	7674,9591	5,4	6,08	Yes
25,00	4	8680,00	7107,00	7879,2011	9,8		0,6595
		8585,00	7132,00	7792,9656	8,5	9,14	Yes
50,00	2	8364,00	6810,00	7592,3546	10,3		1,096
		8457,00	7054,00	7676,7746	8,1	9,21	Yes

Correction factor 1

 Correction 1: 0,912 fk: 0,9126 % Difference: 0,0763
 Correction 1: 0,913 Valid: Yes Valid: Yes

Correction factor 2

 Correction 1: 0,926 fk: 0,9077 % Difference: 2,0733
 Correction 1: 0,889 Valid: Yes Valid: Yes

 lo aver.: 8616,3333 **GL: 2** **DIN valid: Yes**
EC 50: n.e.

Printed on 24.08.2023, 15:21:39

Page:1

RELATÓRIO DE ENSAIO IN_4161.2023_AR_2_1.E

Carta de Sensibilidade de *Vibrio fischeri* - A-EC-003

Setor: Laboratório de Ecotoxicologia

Este documento informa a sensibilidade do organismo-teste ao Fenol, conforme ABNT NBR 15411-3:2021.

