

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL

NATÁLIA VOGEL

**Filtros cerâmicos à base de argila, com reciclagem de vidro e adição de  
agente porogênico, destinados à remoção de microplásticos**

Feliz

2024

NATÁLIA VOGEL

**Filtros cerâmicos à base de argila, com reciclagem de vidro e adição de agente porogênico, destinados à remoção de microplásticos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais para qualificação no Mestrado Profissional ou para a obtenção do grau de Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Tecnologia e Engenharia de Materiais

Orientador: Prof. Dr. André Zimmer

Coorientador: Prof. Dr. Matheus Felipe Pedrotti

FELIZ

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V879f Vogel, Natália

Filtros cerâmicos à base de argila, com reciclagem de vidro e adição de agente porogênico, destinados à remoção de microplásticos / Natália Vogel ; orientador André Zimmer ; coorientador Matheus Felipe Pedrotti. – Feliz, 2024.  
100 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Feliz. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais. Mestrado Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais. Feliz, 2024.

1. Engenharia de materiais. 2. Materiais cerâmicos. 3. Filtros cerâmicos. 4. Resíduos de vidro. 5. Microplásticos. 6. Erva-mate.  
I. Zimmer, André. II. Pedrotti, Matheus Felipe. III. Título.

CDU 666.3

## **NATÁLIA VOGEL**

### **Filtros cerâmicos à base de argila, com reciclagem de vidro e adição de agente porogênico, destinados à remoção de microplásticos**

Trabalho Final apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Saulo Roca Bragança – UFRGS

---

Prof. Dra. Suyanne Angie Lunelli Bachmann – IFRS

---

Prof. Dra. Niceia Chies da Fré – IFRS

---

Orientador: Prof. Dr. André Zimmer – IFRS

---

Coorientador: Prof. Dr. Matheus Felipe Pedrotti - IFRS

Apresentado e aprovado em: 10 de abril de 2024.

Local da defesa: Online

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha saúde e disposição para enfrentar todos os obstáculos encontrados nesta caminhada.

Aos meus pais, meu irmão e minha irmã, pelos incentivos nos momentos difíceis, por compreenderem minha ausência durante a realização deste trabalho e oferecerem suporte em cada passo dessa jornada.

Ao meu companheiro Guilherme, pelo apoio, incentivo e por compreender minha dedicação durante o trabalho. Obrigada por estar sempre ao meu lado!

Ao orientador André Zimmer e coorientador Matheus Felipe Pedrotti, por compartilharem comigo seus conhecimentos, auxiliando-me com paciência e dedicação durante esta jornada. Obrigada!

Aos professores, pelas correções e ensinamentos, que me permitiram alcançar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Ao Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Feliz, por toda estrutura e suporte durante a realização deste trabalho.

## RESUMO

Ao longo dos anos, a produção de plástico tem crescido rapidamente, tornando-se o material mais utilizado atualmente pelos seres humanos. A poluição por plásticos no solo, água e ar é um grande problema, pois pode levar mais de 400 anos para se decompor e gerar microplásticos, prejudiciais ao meio ambiente. Com isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um filtro cerâmico à base de argila e resíduo de vidro (10% em massa), avaliando a influência da adição de 0, 10 e 20% (em massa) de um agente porogênico (resíduos de *Ilex paraguariensis*, após infusão), com foco na retenção de microplásticos presentes na água. As matérias-primas foram moídas, peneiradas, umidificadas (8% de água em massa), prensadas a 20 MPa, secas e sinterizadas a temperaturas de 900 e 950 °C, com taxa de aquecimento de 1,6 °C/min e patamar de 5 min. Os filtros cerâmicos foram avaliados quanto às características do processo de queima, como perda ao fogo e retração linear, e propriedades físicas, como absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente e resistência à flexão. A estrutura superficial foi analisada por microscopia óptica (ampliação de 50x). A retenção de microplásticos foi avaliada por meio da análise de turbidez, com preparação de uma suspensão de microplásticos em laboratório. Os resultados mostraram que a porosidade aparente e a absorção de água da formulação com 20% de erva-mate e sinterizada a 900 °C foram maiores que as das demais formulações, porém com baixa resistência mecânica, apresentando fraturas quando submetida a pressões superiores a 100 kPa. A formulação sem adição de agente porogênico, que apresentou menor porosidade, atingiu uma retenção de microplásticos de 99,77%. A lixiviação dos elementos sódio e potássio do filtro cerâmico foi desprezível. Conclui-se que é possível desenvolver um filtro cerâmico com os materiais propostos, com boa capacidade de retenção de microplásticos.

**Palavras-chave:** Filtro cerâmico. Resíduo vidro. Erva-mate. Microplásticos.

## **ABSTRACT**

Over the years, plastic production has grown rapidly, making it the material most used by humans today. Plastic pollution in soil, water and air is a major problem, as it can take more than 400 years to decompose and generate microplastics, which are harmful to the environment. With this in mind, the aim of this work was to develop a ceramic filter based on clay and glass waste (10% by mass), evaluating the influence of adding 0, 10 and 20% (by mass) of a porogenic agent (*Ilex paraguariensis* waste, after infusion), with a focus on retaining microplastics present in water. The raw materials were milled, sieved, humidified (8% water by mass), pressed to 20 MPa, dried and sintered at temperatures of 900 and 950 °C, with a heating rate of 1.6 °C/min and a 5 min plateau. The ceramic filters were evaluated in terms of the characteristics of the firing process, such as loss on firing and linear shrinkage, and physical properties, such as water absorption, apparent porosity, apparent density and flexural strength. The surface structure was analyzed using optical microscopy (50x magnification). The retention of microplastics was assessed using turbidity analysis, with a suspension of microplastics prepared in the laboratory. The results showed that the apparent porosity and water absorption of the formulation with 20% yerba mate and sintered at 900 °C were higher than those of the other formulations, but with low mechanical resistance, showing fractures when subjected to pressures above 100 kPa. The formulation without the addition of a porogenic agent, which had the lowest porosity, achieved 99.77% retention of microplastics. The leaching of sodium and potassium elements from the ceramic filter was negligible. It is concluded that it is possible to develop a ceramic filter with the proposed materials, with good microplastic retention capacity.

**Key-words:** Ceramic filter. Waste glass. Yerba mate. Microplastics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do processo de filtração, sendo (a) suspensão de sólidos e/ou coloides, (b)torta, (c) meio filtrante e (d)filtrado ou permeado. ....	24
Figura 2 - Diferentes formatos de poros. ....	28
Figura 3 - Sistema constituído por tanque de armazenamento (A), registros (B), bomba hidráulica (C), suporte contendo o filtro cerâmico (D), recipiente para coleta de água (E), balança (F) e manômetro (G), utilizado para ensaio de vazão mássica dos filtros cerâmicos aplicando-se valores fixos de pressão ( $\Delta P$ ) de 0, 50, 100, 150 e 200 kPa. ....	44
Figura 4 - Sistema contendo tubo (A) com registro (B), suporte contendo o filtro cerâmico (C), compressor de ar (D),recipiente para coleta de água (E) e balança (F), utilizado para o ensaio de lixiviação e remoção de microplásticos aplicando-se valor fixo de pressão ( $\Delta P$ ) de 100 kPa. ....	46
Figura 5 – Imagens dos filtros cerâmicos desenvolvidos após ciclo de queima de 900 °C: a) 0E10V; b) 10E10V; c) 20E10V; e a 950 °C: d) 0E10V; e) 10E10V; e (f) 20E10V. ....	49
Figura 6 - Perda ao fogo das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas à 900 e 950 °C. ....	50
Figura 7 - Retração linear das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas à 900 e 950 °C. ....	51
Figura 8 - Porosidade aparente das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas a 900 e 950°C. ....	52
Figura 9 - Densidade aparente das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas a 900 e 950 °C. ....	55
Figura 10 - Absorção de água das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas a 900 e 950 °C. ....	56
Figura 11 - Resistência à flexão aplicado às formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas em 900, 950 °C e amostras à verde. ....	57
Figura 12 - Imagem microscópica das amostras queimadas a 900 °C: 0E10V (a); 10E10V (b); 20E10V (c); e a 950 °C: 0E10V(d); 10E10V (e) e 20E10V (f). ....	58
Figura 13 - Vazão mássica das formulações sinterizadas a 900 °C (a) e 950 °C (b). *Alguns resultados têm desvio padrão mínimo. ....	60



Figura 14 – Ciclo de pressão versus vazão mássica realizado nas formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas a 900 °C, aplicando-se aumento (1) e redução (2) das pressões de 50, 100 e 150 kPa. \*As formulações 0E10V e 10E10V têm um desvio padrão mínimo nos resultados do fluxo de massa. ....63

Figura 15 - Vazões mássicas obtidas para as formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V, sinterizadas em 900 °C, após a passagem da suspensão contendo microplásticos, aplicando-se a pressão de 100 kPa. (\* Alguns resultados têm um desvio-padrão mínimo). ....67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas de queima e características para diferentes formulações.	34
Tabela 2 – Formulações desenvolvidas com as quantidades de matérias-primas utilizadas (% em massa).	39
Tabela 3 - Número de amostras preparadas para cada formulação e temperatura de queima.	41
Tabela 4 - Porosidade aparente de filtros cerâmicos encontradas para diferentes agentes porogênicos.	54
Tabela 5 - Ensaio de vazão aplicado em filtros cerâmicos constituídos por diferentes agentes porogênicos.	61
Tabela 6 - Medidas relativas encontradas para os elementos sódio e potássio em água filtrada através das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas em 900 °C. (*L.D: limite de detecção).	64
Tabela 7 - Turbidez da suspensão após o ensaio para as formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas em 900 °C, aplicando-se a pressão de 100 kPa.	66

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2.	OBJETIVOS .....	15
1.2.1.	Objetivo geral.....	15
1.2.2.	Objetivos específicos.....	16
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1.	PLÁSTICOS .....	17
2.2.	POLUIÇÃO POR PLÁSTICOS .....	19
2.3.	MICROPLÁSTICOS.....	20
2.4.	REMOÇÃO DE MICROPLÁSTICOS PRESENTES NA ÁGUA .....	22
2.5.	FILTRAÇÃO .....	24
2.6.	FILTRO CERÂMICO .....	26
2.7.	FORMULAÇÕES CERÂMICAS CONSTITUÍDAS POR DIFERENTES AGENTES POROGÊNICOS.....	29
2.8.	ARGILA.....	31
2.9.	RESÍDUO VIDRO.....	33
2.10.	ERVA-MATE.....	35
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1.	MATÉRIAS-PRIMAS E FORMULAÇÕES .....	38
3.2.	PREPARAÇÃO DOS FILTROS CERÂMICOS .....	40
3.3.	AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FILTROS CERÂMICOS .....	41
3.4.	DESENVOLVIMENTO DE UM APARATO PARA AVALIAÇÃO DOS FILTROS CERÂMICOS .....	44
3.5.	LIXIVIAÇÃO.....	45
3.6.	RETENÇÃO DE MICROPLÁSTICOS.....	47
<b>4.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
4.1.	PROCESSAMENTO E CARACTERÍSTICAS DO FILTRO CERÂMICO .....	49
4.2.	VAZÃO DO FLUIDO ATRAVÉS DOS FILTROS CERÂMICOS .....	59
4.3.	LIXIVIAÇÃO.....	63
4.4.	RETENÇÃO DE MICROPLÁSTICOS.....	65
4.5.	VAZÃO MÁSSICA DE UMA SUSPENSÃO CONTENDO MICROPLÁSTICOS .....	67

<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>69</b>
-----------	----------------------------------	-----------

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, teve-se um crescimento global de 20 vezes quanto à produção do plástico (WALKER e FEQUET, 2023), sendo o material mais utilizado pelos seres humanos hoje em dia (KYE *et al.*, 2023). O plástico surgiu em 1900, sendo aplicado em vestuários e objetos, e posteriormente, empregado em indústrias de alimentos e automóveis (ABIPLAST, 2019). Em 2021, a produção mundial foi de 390 milhões de toneladas (PLASTICS EUROPE, 2023), destacando-se que, o Brasil é o quarto país que mais gera plástico no mundo (WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2021).

A poluição por plásticos acaba influenciando na qualidade do solo, do ar e da água (BAYARKHUU e BYUN, 2022; WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2021). Em razão disto, vêm se destacando a preocupação quanto à presença de plásticos no ambiente marinho, somando, hoje em dia, entre 86 e 150 milhões de toneladas no oceano e demorando centenas de anos para se degradar (JONES, 2022). A presença deste material gera impactos ambientais como a morte de peixes, mamíferos e aves marinhas, assim como a destruição do ecossistema (COLE *et al.*, 2011). O plástico também pode ser decomposto em microplásticos, que são insolúveis em água e alcançam dimensões entre 1 e 1000  $\mu\text{m}$ , nos termos da norma ISO/TR 21960/2020 (KYE *et al.*, 2023), sendo propícios à aderência de poluentes orgânicos (COLE *et al.*, 2011).

Nos seres humanos, os microplásticos já foram encontrados nas artérias, aumentando a chance de ter um ataque cardíaco ou até levar a morte do indivíduo (MARACCINI, 2024). Um estudo realizado por Marfella *et al.* (2024) também demonstrou que os microplásticos são um potencial risco para doenças cardiovasculares, apresentando que os pacientes com evidência de microplásticos na artéria carótida manifestavam um composto de acidente vascular cerebral, infarto do miocárdio ou morte. Dos 257 pacientes que participaram do estudo até o final, 150 apresentaram o polietileno na artéria carótida e 31 pacientes continham o cloreto de polivinila.

Desta maneira, torna-se necessário encontrar soluções para remover estes microplásticos da água, sendo viável de forma imediata a eliminação deste pelo tratamento de água (TANG e HADIBARATA, 2021; BAYARKHUU e BYUN, 2022). As técnicas de coagulação e sedimentação demonstram ser eficazes na remoção de partículas grandes, com tamanho entre 15 e 140  $\mu\text{m}$ , mas com eficiência de 33% para partículas com dimensões de 10  $\mu\text{m}$ , e que acabam passando também pela etapa subsequente, que seria a filtração de areia (BAYARKHUU e BYUN, 2022). Outras técnicas também foram estudadas como a separação por hidrogel de celulose bacteriana (RODRIGUES *et al.*, 2024) e coluna de leito fixo (AHMAD *et al.*, 2023) porém, estas devem apresentar condições ideais de pH (RODRIGUES *et al.*, 2024; AHMAD *et al.*, 2023) e temperatura (RODRIGUES *et al.*, 2024) para alcançarem bons resultados de retenção dos microplásticos.

A partir da sua remoção, diferentes são as técnicas utilizadas em sua detecção, sendo que, Berov e Klayn (2020) e Hal *et al.* (2017) verificaram através da estereomicroscopia, Xu *et al.* (2018) analisaram através da espectroscopia infravermelha com transformada micro-Fourier ( $\mu\text{-FT-IR}$ ) e Nie *et al.* (2019) empregaram a espectroscopia Raman. Porém, sua eficiência de remoção também pode ser medida através da turbidez, considerando um método simples e barato (BAYARKHUU e BYUN, 2022; SARKAR *et al.* 2021), sendo esta empregada no trabalho.

Em se tratando da remoção de impurezas que ficam suspensas na água, um dispositivo simples e de baixo custo é o filtro cerâmico, utilizado para reter microorganismos e quaisquer outras partículas pequenas (ZEREFFA e BEKALO, 2017; BULTA e MICHEAL, 2019). O filtro cerâmico é uma técnica utilizada no tratamento de água doméstico ou em pequena escala, em que, através da filtração por pressão ou gravidade, ocorre a passagem da água por um meio cerâmico poroso (ZEREFFA e BEKALO, 2017; BULTA e MICHEAL, 2019; SOUZA, 2011). Estes, são fabricados a partir de uma mistura de argila e um material de sacrifício. A mistura úmida, normalmente, é pressionada em um molde, seca em temperatura ambiente e, posteriormente, queimada em forno (HEYLEN *et al.*, 2021; VENIS e BASU, 2021). Na queima, o material de sacrifício se decompõe e gera poros, através da qual a água

pode passar e ser tratada por exclusão de tamanho (VENIS e BASU, 2021; NIGAY *et al.*, 2018).

Diversos são os materiais porogênicos já utilizados na produção dos filtros cerâmicos, podendo citar a serragem (ZEREFFA e BEKALO, 2017; BOLAJI e AKANDE, 2013; BULTA e MICHEAL, 2019), flocos de madeira (CHUNG *et al.*, 2013), casca de arroz (DUNG *et al.*, 2021; OYANEDEL-CRAVER e SMITH, 2007), entre outros. Um material de sacrifício já estudado em matriz cerâmica com o intuito de controlar a porosidade é o resíduo de erva-mate (SCHARNBERG *et al.*, 2019). Esta, é processada através de folhas e caules da planta *Ilex Paraguariensis*, e é utilizada no preparo de uma bebida conhecida como “mate” ou “chimarrão”, sendo consumida socialmente em países como a Argentina, Brasil, Uruguai, Paraguai e Chile. No Brasil, é bastante ingerida no estado do Rio Grande do Sul (BURRIS *et al.*, 2012; NEVES *et al.*, 2020), se tornando um resíduo após seu consumo (SCHARNBERG *et al.*, 2019).

Em razão da erva-mate aumentar a porosidade do material cerâmico durante a queima, conseqüentemente, gera uma diminuição de sua resistência mecânica (SCHARNBERG *et al.*, 2019). Com isso, a inserção do resíduo vidro em matriz cerâmica faz com que este atue como um fundente, favorecendo o processo de sinterização e tornando o material mais resistente. Além disso, sua incorporação em formulação cerâmica diminui a temperatura de queima, reduzindo o consumo de energia (BOHN *et al.*, 2021; CRUZ *et al.*, 2022).

Com base nessas premissas, buscou-se desenvolver um filtro cerâmico para microplásticos, reciclando resíduos, utilizando materiais e métodos de fabricação simples. Foi adicionado resíduo vidro para diminuir a temperatura de sinterização, e resíduo de erva-mate para atuar como agente porogênico devido à sua capacidade de gerar poros causados pela sua saída durante o processo de queima - fugitivo sacrificial. A partir disso, foram avaliadas as propriedades físicas do material cerâmico, e posteriormente as características do processo de filtração como a vazão mássica a diferentes pressões, lixiviação de elementos e retenção dos microplásticos através da análise de turbidez do filtrado.

## 1.1. Justificativa

A indústria do plástico se tornou importante a partir de 1900, estando presente em nossas casas diariamente, desde embalagens de alimentos até produtos de higiene pessoal. Porém, a degradação deste material pode gerar os microplásticos, que apresentam tamanho menor do que 1000  $\mu\text{m}$ , e influenciam negativamente no ecossistema aquático, causando a morte de peixes e mamíferos, e na saúde humana, sendo que, já foi encontrado no corpo humano. Diante destes malefícios e da crescente preocupação quanto à poluição pelos microplásticos em água, a produção de um filtro cerâmico doméstico à base de argila, resíduo vidro e resíduo de *ilex paraguaniensis* (como agente porogênico) se torna uma medida oportuna para diminuir essas partículas presentes em água, reduzindo o risco da ingestão dos microplásticos.

A inserção do filtro cerâmico doméstico pode contribuir com a redução dos microplásticos em água, reduzindo a poluição deste material nos sistemas de água residual e, com isso, ajudando na preservação do meio ambiente. Além disso, se torna uma solução simples e acessível para este problema emergente, sem a necessidade de altos investimentos.

## 1.2. Objetivos

Com o intuito de desenvolver um filtro cerâmico capaz de reter microplásticos da água, traçaram-se os objetivos geral e específicos descritos abaixo:

### 1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho foi desenvolver um filtro cerâmico simples, para reter microplásticos, à base de argila e resíduo vidro, avaliando os efeitos da adição do resíduo de erva-mate como agente porogênico.



### 1.2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- a. Estudar as características do processo de queima como perda ao fogo e retração linear;
- b. Apurar as propriedades físicas do material cerâmico como absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente e resistência à flexão;
- c. Verificar a superfície do meio filtrante através da microscopia óptica;
- d. Estimar a vazão mássica de água nos filtros a diferentes pressões;
- e. Avaliar a lixiviação dos elementos sódio e o potássio das amostras;
- f. Averiguar a retenção de microplásticos através da análise de turbidez do filtrado.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo objetiva apresentar os fundamentos teóricos que serão importantes para o desenvolvimento do trabalho, sendo que serão abordados os seguintes itens: plásticos, poluição por plásticos, microplásticos, retenção de microplásticos presentes na água, filtração, filtros cerâmicos, formulações cerâmicas constituídas de diferentes agentes porogênicos, argila, vidro e erva-mate.

### 2.1. Plásticos

O rápido aumento do uso do plástico nos últimos anos se deve a sua deformação ser permanente, ou seja, o material não consegue retornar ao seu tamanho e forma originais após a remoção da carga. Entre os plásticos mais utilizados destacam-se o poliestireno, polipropileno e polietileno, e conseqüentemente, se tem uma alta probabilidade de estes acabarem chegando aos oceanos. A maioria destes materiais são produzidos a partir de combustíveis fósseis, como o petróleo, sendo que este é uma fonte não-renovável (SEYYEDI *et al.*, 2023; FRANCHETTI e MARCONATO, 2006; ANDRADY, 2011).

Os plásticos são muitas vezes denominados de polímeros, e podem ser classificados em polímeros naturais, artificiais e sintéticos. Os polímeros produzidos pelo metabolismo dos seres vivos são os naturais. Já os artificiais são modificados quimicamente, e os sintéticos são aqueles desenvolvidos em laboratório (PIATTI e RODRIGUES, 2005). Os polímeros sintéticos são, geralmente, derivados do petróleo. Estes polímeros são macromoléculas que, unidas, formam os plásticos sintéticos (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

Os plásticos sintéticos podem ser classificados em termofixos e termoplásticos, sendo que, o termoplástico pode ser reciclado e o termofixo não, pelo fato de não apresentar estado plástico. Pelo fato de os termoplásticos apresentarem ligações lineares e ramificadas, que são facilmente quebradas quando em contato com calor, este material pode ser remoldado quando sofre ação de temperatura ou pressão. Assim, se tornam um fluido quando são aquecidos, e quando são resfriados, solidificam. Já os termofixos não conseguem fundir novamente pois reagem

quimicamente em sua moldagem. Ou seja, apresentam ligações cruzadas e quando aquecidas ficam ainda mais enrijecidas (CIRINO *et al.*, 2017; TEOTÔNIO, 2020).

A textura, forma física, composição química e tamanho do plástico podem ser alteradas pela inserção de aditivos. Estes, podem ser orgânicos ou inorgânicos, mas, potencialmente tóxicos, podendo afetar na sua reutilização devido à sua transferência para outros materiais. Com isso, geram-se consequências ambientais, sendo que o material pode se decompor e liberar estes aditivos, gerando os microplásticos (HALE *et al.*, 2020). Deste modo, para minimizar a geração deste resíduo, atualmente estão sendo desenvolvidos polímeros com menor impacto ambiental como os biopolímeros, polímeros verde, polímeros sustentáveis e polímeros biodegradáveis (BRITO *et al.*, 2011).

Os biopolímeros são produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como o milho e a cana-de-açúcar. Este polímero apresenta um ciclo de vida menor se comparado ao plástico convencional, mas apresenta algumas limitações quanto à sua processabilidade e seu uso como produto final (BRITO *et al.*, 2011). Os polímeros verdes são aqueles que, anteriormente eram sintetizados a partir de matérias-primas advindas de fontes fósseis, mas que, com os avanços tecnológicos passaram a ser sintetizados a partir de fontes renováveis. Os polímeros sustentáveis causam um menor impacto ambiental, durante seu processamento ou degradação, do que os polímeros convencionais (BRITO *et al.*, 2011).

Além destes, os polímeros biodegradáveis são aqueles degradados pela ação de microrganismos de ocorrência natural, possibilitando um ciclo de vida fechado. Estes podem ser provenientes de fontes naturais renováveis, fonte animal, fonte fóssil ou a mistura entre biomassa e petróleo (BRITO *et al.*, 2011). No caso do polímero biodegradável ser uma mistura entre biomassa e petróleo, o mesmo será capaz de gerar os microplásticos, pois apenas a fonte renovável será decomposta, e a fóssil não (COLE *et al.*, 2011; TEOTÔNIO, 2020; BRITO *et al.*, 2011).

## 2.2. Poluição por plásticos

Segundo Kurtela e Antolovic (2019), cerca de 80% da poluição marinha mundial advém de fontes terrestres, das quais entre 60 a 95% são resíduos correlatos a plásticos. O problema com este resíduo começou por volta do ano de 1950, devido ao início da produção de grandes quantidades deste material, tendo-se um aumento anual de cerca de 8,4% da taxa de produção, até o ano de 2015 (KURTELA e ANTOLOVIC, 2019; HALE *et al.*, 2020). Dentre os anos mencionados, gerou-se 6,3 bilhões de toneladas de resíduos plásticos no mundo, visto que, 79% foram dispostos em aterros ou no meio ambiente, e cerca de 37% não passaram por nenhum tratamento (MONTAGNER *et al.*, 2021; TEOTÔNIO, 2020).

No ano de 2019, a produção do plástico alcançou 396 milhões de toneladas, totalizando em 9 bilhões de toneladas produzidas desde 1950. Dentre os maiores produtores no planeta, o Brasil está em 4º lugar, alcançando 11,3 milhões de toneladas ao ano e reciclando apenas um pouco mais de 1% (World Wide Fund for Nature, 2021; BRIOSCHI e PEDRA, 2023). Esse baixo índice de reciclagem está relacionado com a produção de plásticos de “uso único”, como é o caso das embalagens, copos e canudos (MONTAGNER *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2022). Este material corresponde a maioria dos plásticos encontrados no mar, podendo permanecer por séculos, ou ainda, se degradar gerando os nanoplásticos e microplásticos (SILVA *et al.*, 2022; BRIOSCHI e PEDRA, 2023).

A utilização dos plásticos de uso único é favorável, de forma econômica, por ser um material leve, de baixo custo e alta durabilidade (OLIVEIRA; SOUSA, 2019; KURTELA e ANTOLOVIC, 2019; SILVA *et al.*, 2022). Porém, a poluição marinha ocasionada por este resíduo pode causar a morte de espécies marinhas, assim como a liberação de compostos químicos, como o bisfenol A, que interfere no sistema endócrino em humanos, representando uma ameaça ao ecossistema (SILVA *et al.*, 2022; DUARTE, 2022; MONTAGNER *et al.*, 2021; SEYYEDI *et al.*, 2023).

Estes resíduos marinhos podem advir de fontes terrestres, constituindo cerca de 80%, sendo que o restante sucede de fontes marinhas, como a indústria pesqueira (SEYYEDI *et al.*, 2023; ANDRADY, 2011). O material sólido que é despejado nos oceanos é denominado de lixo marinho, e grande parte de sua

produção é constituída pelo material plástico, devido à sua durabilidade (SEYYEDI *et al.*, 2023). Essa característica faz com que, muitas indústrias o utilizem, podendo ser destacado a de construção civil, de alimentos e bebidas, de automóveis, de equipamentos, entre outros (CIRINO *et al.*, 2017). Ainda, são usados na indústria aeroespacial, sendo chamados de plástico de engenharia pois suportam altas temperaturas e apresentam boa resistência à corrosão química (PINHATTI, 2022).

### **2.3. Microplásticos**

Os microplásticos advêm da degradação dos plásticos em pedaços menores (KOOK e CHANHYUK, 2022), após sua exposição a agentes naturais externos, podendo ser fragmentado diversas vezes (OLIVEIRA; SOUSA, 2019). Essa degradação pode ser classificada em: biodegradação (ação de organismos vivos), fotodegradação (ação da luz), degradação térmica (ação de altas temperaturas) e degradação termo oxidativa (degradação oxidativa lenta) (ANDRADY, 2011). Além destas, este material pode sofrer hidrólise (reação química com a água), ocorrendo sua fragmentação (TEOTÔNIO, 2020).

Os microplásticos são conhecidos como partículas de tamanho inferior a 5 mm, assim podendo se difundir por diversas áreas (ANDRADY, 2011; OLIVEIRA; SOUSA, 2019; KURTELA e ANTOLOVIC, 2019). Este material já foi encontrado na água, na cerveja e até no sal de cozinha (PINHATTI, 2022; KOSUTH *et al.*, 2018). No sal de cozinha, possui cerca de 200  $\mu\text{m}$  de tamanho, e em água menos de 20  $\mu\text{m}$  (OLIVATTO *et al.*, 2018). Essa contaminação foi estudada por Kosuth *et al.* (2018) que analisou 159 amostras da água de torneira advindas de 14 países, 12 marcas de cerveja e 12 marcas de sal marinho, obtendo como resultado a contaminação por microplásticos em 81% das amostras. Além de estar presente em todas as marcas de cerveja e de sal marinho.

Este contaminante é definido como uma partícula sólida, insolúvel em água, e que possui tamanho entre 1 e 1000  $\mu\text{m}$ , segundo a norma “Plastics – Environmental aspects – State of knowledge and Methodologies” - ISO/TR 21960/2020 (PINHATTI, 2022; MONTAGNER *et al.*, 2021).

Os microplásticos podem ser produzidos intencionalmente ou não. No caso de plásticos utilizados em cosméticos, estes já são produzidos em tamanhos microscópicos, no caso de cosméticos de higiene, que podem atingir até 50 mil partículas por grama de produto. Também, tem-se as microesferas utilizadas em tintas e revestimentos. Estes microplásticos são denominados de primários. Além destes, tem-se os microplásticos secundários, que são aqueles advindos da degradação dos plásticos, como pinturas em estruturas, desgaste de pneus, rejeitos de construção civil, materiais de pesca, entre outros. Estes se apresentam em maior abundância do que os primários (TEOTÔNIO, 2020; PINHATTI, 2022; HALE *et al.*, 2020).

Os microplásticos primários chegam aos cursos hídricos pelos efluentes domésticos, no caso de estarem presentes em produtos cosméticos, ou efluentes industriais, como no caso da indústria têxtil que, quando realiza o processo de lavagem das roupas, pode liberar cerca de 640.000 a 1.500.000 unidades de fibras sintéticas por quilo de roupa em uma única lavagem (OLIVATTO *et al.*, 2018; TEOTÔNIO, 2020; PINHATTI, 2022; FALCO *et al.*, 2019). Algumas industriais já utilizam as fibras naturais como o sisal, algodão e juta, sendo bem avaliadas pelos consumidores, devido ao fato de serem biodegradáveis (SECCHI e PADILHA, 2020). Já os microplásticos secundários acabam lixiviando os aditivos que são inseridos nos macrolásticos promovendo a contaminação do meio ambiente (OLIVATTO *et al.*, 2018; TEOTÔNIO, 2020; PINHATTI, 2022; FALCO *et al.*, 2019).

Assim, estes efluentes acabam sendo despejados nos corpos d'água, contaminando-os (TEOTÔNIO, 2020; PINHATTI, 2022). O transporte e disposição deste resíduo pode vir de diferentes maneiras, sendo estas, condições meteorológicas (radiação solar e direção do vento), fatores antrópicos (gestão de resíduos e atividade humana), hidrológicos (vazão de água e profundidade do corpo d'água) e características do material (forma, tamanho, densidade, entre outros) (BERTOLDI, 2022).

A diferença de densidade do material pode interferir na sua distribuição na coluna d'água, sendo que os que possuem baixa densidade normalmente são encontrados na superfície, e aqueles com alta densidade, no fundo do corpo hídrico (OLIVATTO *et al.*, 2018; PEREIRA, 2018). Também, um estudo realizado por

Waldschlager *et al.* (2020) demonstrou que polímeros com densidades parecidas, como as fibras de PA (1,02-1,16 g/cm<sup>3</sup>) e pellets de PVC (1,16-1,58 g/cm<sup>3</sup>) apresentaram velocidade de decantação próximas.

Além de fatores como o tamanho e a forma do microplástico intervirem na decantação dos materiais (BERTOLDI, 2022), ele também pode se bioacumular em metais que estão presentes na água, fazendo com que se acumulem e sejam ingeridos pelo organismo, causando efeitos tóxicos aos seres vivos (TREVIZANI, 2019; MARTINS *et al.*, 2022; CAIXETA *et al.*, 2018). Também, podem adsorver os poluentes orgânicos persistentes (POP) contribuindo com sua dispersão (POMPÊO *et al.*, 2022; TEOTÔNIO, 2020; DE CARVALHO E NETO, 2016; ZHANG *et al.*, 2017; ANDRADY, 2011).

Levando-se em consideração todos malefícios causados pelos microplásticos aos seres vivos e ao meio ambiente, é importante a realização do tratamento da água em estações de tratamento, buscando minimizar os problemas causados pelo descarte deste resíduo.

#### **2.4. Remoção de microplásticos presentes na água**

Segundo Tang e Hadibarata (2021), os microplásticos podem chegar no sistema aquático por diferentes maneiras, sendo estas, através do seu descarte direto, pelas águas residuais industriais ou pelo escoamento das chuvas, no caso deste resíduo estar presente no solo. Com isso, é preciso que sejam estruturadas soluções para remoção dos microplásticos do meio ambiente, sendo viável de forma imediata a eliminação deste pelo tratamento de água.

As estações de tratamento de água (ETA) englobam a água retirada de diferentes fontes, podendo ser, marinha, subterrânea ou superficial. Normalmente, a água passa pelo tratamento primário constituído pela triagem e remoção de areia, e segue para a coagulação e sedimentação, sendo adicionado alúmen. Em seguida, flui para os tanques de sedimentação. Devido a água apresentar menos carga orgânica do que as águas residuais, não é necessário que seja feito o tratamento secundário, assim, a água passa por um filtro de areia e depois segue

para a etapa de desinfecção, onde a água é clorada e fluoretada (TANG e HADIBARATA, 2021).

Algumas etapas do processo de tratamento de água foram estudadas quanto à retenção dos microplásticos. Velasco *et al.* (2022) avaliou a eficiência de remoção de microplásticos e fibras sintéticas em uma estação piloto de tratamento de água potável convencional, concluindo que, independentemente da adição de um coagulante, tem-se uma remoção de 79% de microplásticos em água no processo de filtro com areia. Já na remoção de fibras sintéticas, houve uma considerável diferença utilizando o coagulante, sendo que a eficiência foi de 69% sem adição, e 96% com adição. Para a concentração de microplásticos e fibras, após o tratamento sem coagulante, houve uma remoção de 89 e 81%, respectivamente. E na presença de coagulante, filtração de areia e filtração com carvão ativado foi superior a 96%. Porém, segundo Tang e Hadibarata (2021) a filtração com carvão ativado não está presente em todas as estações de tratamento de água.

Um estudo do processo de flotação para remoção de microplásticos em água, foi realizado por Silva *et al.* (2021), sendo adicionado a duas matrizes aquosas microesferas de poliestireno e microfibras de polipropileno. As suspensões foram submetidas ao ensaio de tratabilidade, passando pelos processos de coagulação, floculação e flotação. Para a indicação da remoção dos microplásticos, o método indicativo foi da análise de turbidez. Este estudo alcançou 98,14% de eficiência de remoção de turbidez quando se utilizou uma concentração de cloreto de polialumínio (PAC) de 5 mg/L e pH de coagulação de 9,4. Mas, conforme ocorre a redução do pH de coagulação, gerou-se uma redução na eficiência de remoção, chegando em 10,19% em pH de 6,2.

Uma avaliação referente a remoção de microplásticos em uma estação de tratamento de água com clarificador de pulso e filtro de areia foi feita por Sarkar *et al.* (2021). No processo de clarificador de pulso e filtro de areia foi encontrado uma eficiência de remoção cumulativa de 62 e 85%, respectivamente. Sendo que, fibras e fragmentos (que foram os microplásticos mais encontrados neste estudo), com tamanho maior do que 100 µm, não foram encontrados após esses tratamentos. Também, foi feito um estudo estatístico utilizando a distribuição t, relacionando os microplásticos com a turbidez, estando fortemente relacionada. A abundância dos



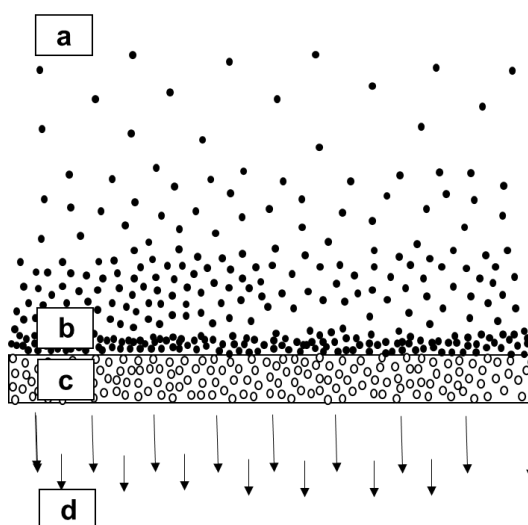
microplásticos não apresentou correlação com parâmetros como cloretos, sulfatos, condutividade, salinidade, entre outros.

Como visto em diferentes estudos, diversas são as maneiras de remoção dos microplásticos contidos em água, podendo ser destacados os tratamentos por coagulação (Velasco *et al.*, 2022), flotação (Silva *et al.*, 2021), clarificador de pulso (Sarkar *et al.*, 2021), filtro de areia (Velasco *et al.*, 2022; Sarkar *et al.*, 2021), entre outros. Além destes, as membranas poliméricas e cerâmicas foram estudadas com o intuito de reter microplásticos de PS e PE de tamanhos diferentes (0,1 e 1,0  $\mu\text{m}$ ) em água, por Kook e Chanhyuk (2022), obtendo-se a remoção de uma fração significativa do resíduo. Assim, verifica-se que o processo de filtração pode ser empregado na retenção de microplásticos em água.

## 2.5. Filtração

A filtração é um processo físico químico, responsável pela separação de sólidos suspensos presentes em meios líquidos através da sua passagem por uma superfície porosa, conhecida como meio filtrante (SILVA, 2018; BASTOS e AFONSO, 2015). Por meio deste tratamento obtém-se dois produtos, sendo eles, a torta e o filtrado, como demonstrado na Figura 1 (SILVA, 2018).

Figura 1 - Representação do processo de filtração, sendo (a) suspensão de sólidos e/ou coloides, (b)torta, (c) meio filtrante e (d)filtrado ou permeado.



Fonte: Os autores, 2024.

Quando essa suspensão líquida é forçada a passar pelo meio filtrante, o sólido suspenso fica retido sobre o filtro, formando uma camada conhecida como torta. Já o líquido que passa através dele é denominado de filtrado (BREANCINI, 2018; TURMINA *et al.*, 2019). Assim, inicialmente, as partículas maiores que os poros do meio filtrante, ficam retidas em sua superfície, pelo fenômeno de “peneiramento”. As demais, se prendem no leito filtrante e, dependendo da sua velocidade de deslocamento, ocorre o fenômeno de “sedimentação” (DEUS, 2014).

Com o decorrer da filtração, a espessura da torta vai aumentando e, sua forma de compactar pode variar dependendo do material filtrado. Essa forma pode ser compressível, em que a torta é composta por materiais coloidais e que sofrem deformação quando compactados, ou incompressível, onde o sólido filtrado oferece rigidez e faz com que a torta apresente resistência ao escoamento constante, não sofrendo alteração pela força aplicada (PASOTTO *et al.*, 2011). Esse aumento de resistência faz com que ocorra o acréscimo da perda de carga e da vazão e, devido ao escoamento ser laminar no interior da torta, a queda de pressão será proporcional a velocidade (BREANCINI, 2018; NASCIMENTO, 2019).

A velocidade com que acontece a filtração pode depender de fatores como o tipo de precipitado, a pressão aplicada, a temperatura da solução, sendo que a mesma interfere na sua viscosidade podendo aumentar sua velocidade de passagem pelo filtro, e o meio filtrante, devido as diferentes porosidades (BASTOS e AFONSO, 2015). Os meios filtrantes podem ser de variados materiais, podendo ser flexíveis como o tecido, ou rígidos como é o caso dos filtros cerâmicos, que permitem a filtração através de microporos presentes em sua estrutura (SILVA, 2018).

Além das características do filtro ou da solução, o processo também pode ser classificado quanto ao tipo de filtração, sendo gravitacional, ou pela aplicação de uma força externa, como a filtração à vácuo ou por pressão (SILVA, 2018; BASTOS e AFONSO, 2015). Na filtração à vácuo, o líquido atravessa o filtro pela diferença de pressão entre os dois lados do meio filtrante. Já na filtração por pressão, a passagem do líquido ocorre por aplicação de uma pressão positiva onde está localizada a torta (SILVA, 2018), e neste caso, as vazões do filtro são significativamente mais altas (CESCON e JIANG, 2020). Porém, deve-se ter um

cuidado com o aumento da vazão através do filtro, sendo que este, pode ocasionar o desprendimento de partículas que estão ligadas com menos força ao meio filtrante (CESCON e JIANG, 2020).

As membranas são um tipo de filtro que utiliza uma pressão sobre a solução para separar as partículas presentes. Estas podem ser poliméricas, metálicas ou cerâmicas, apresentando tamanho de poros de 1000 Å a 10 µm (microfiltração), mas sendo possível ser afetada pela incrustação (LESAK, 2021; BRUGGEN *et al.*, 2003). Do mesmo modo que as membranas cerâmicas de microfiltração, os filtros cerâmicos apresentam poros pequenos e homogêneos (com faixa de tamanho de 10 a 100 µm), e removem partículas presentes na água. Mas, sua vida útil pode ser maior devido a facilidade de limpeza, sendo possível lavá-lo de tempos em tempos e reutilizá-lo, além de aguentar temperaturas acima de 1000 °C e baixo custo de produção (LESAK, 2021; SOUSA, 2018).

## **2.6. Filtro cerâmico**

O filtro cerâmico é uma técnica utilizada na remoção de contaminantes presentes em correntes gasosas (INNOCENTINI *et al.*, 2009), inclusões das ligas metálicas durante o processo de fundição (MACEA CERÂMICA TÉCNICA, 2024) e a filtragem de impurezas em água (CIAWI e KHOIRUDDIN, 2024). A filtragem da água ocorre pela gravidade pelo meio cerâmico poroso (ZEREFFA e BEKALO, 2017; BULTA e MICHAEL, 2019). Comumente, estes, são fabricados a partir de uma mistura de argila e um material de queima, que no processo de aquecimento, sinteriza, e gera poros no material cerâmico, sendo este o meio de filtração (VENIS e BASU, 2021).

A mistura úmida, normalmente, é pressionada em um molde (VENIS e BASU, 2021), podendo ser fabricados em diferentes formatos, como em disco, vela, pote e tubo. Após a prensagem, as amostras são secas em temperatura ambiente e, posteriormente, queimadas em forno (VENIS e BASU, 2021). O processo de queima dos filtros cerâmicos geralmente consiste nos estágios de evaporação da água (20 – 120 °C), decomposição (120 – 350 °C), combustão do material de queima (350 – 450 °C), alteração da cerâmica (350 – 700 °C), liberação

de dióxido de carbono do material de queima (700 – 900 °C) e vitrificação (>1000 °C) (YANG *et al.*, 2020).

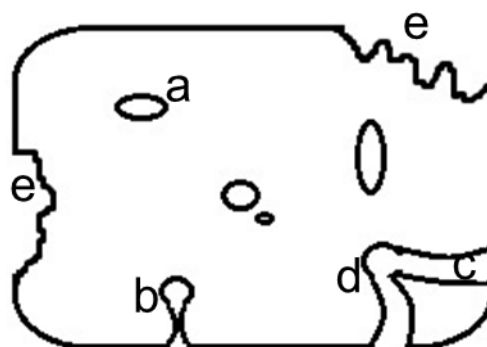
As características do filtro são influenciadas pelo seu tratamento térmico, além da sua composição química e mineralógica. Esses fatores contribuem para o arranjo dos átomos na estrutura, e interferem em suas propriedades, como a permeabilidade e resistência (SILVA, 2018; SOUSA, 2018; LANDMESSER *et al.*, 2011). Essas propriedades estão diretamente ligadas à porosidade do material, que é identificada como os vazios interconectados que permitem a passagem da água através da superfície (SILVA, 2018). A porosidade não deve impedir a passagem do fluido, mas deve evitar a penetração de partículas em sua estrutura (SOUSA, 2018).

Assim, tem-se que a porosidade é uma característica da estrutura dos filtros cerâmicos, sendo necessário o controle da sua microestrutura (MILAK, 2018). Esta, pode apresentar diferentes tamanhos de poros, e geralmente não pode ser vista a olho nu (SILVA, 2018).

Durante a sinterização, os grãos do pó cerâmico se unem em busca de reduzir sua área de superfície, fazendo com que formem os grãos na estrutura do filtro. Os contornos de grão podem conter impurezas que geram as fases vítreas, e estas auxiliam no deslizamento dos grãos à medida que eles se unem. Essa fase confere resistência ao material cerâmico quando em temperatura ambiente. Já os poros são os espaços vazios encontrados entre grãos, e são gerados pela incapacidade do compacto de pó sinterizar até sua densidade total (LANDMESSER *et al.*, 2011; SOUSA, 2018).

Os poros do filtro podem ser abertos, ou fechados. A porosidade aberta está conectada à superfície da peça cerâmica, e apresenta baixa queda de pressão e elevada permeabilidade. A porosidade fechada não está conectada à superfície, sendo um bom isolante térmico (MILAK, 2018; SOUSA, 2018). Através da Figura 2, tem-se uma representação dos diferentes formatos de poros em um material cerâmico.

Figura 2 - Diferentes formatos de poros.



Fonte: Os autores, 2024.

Os poros abertos estão representados por (b, c, d, e) e fechados (a), sendo que, (b) são poros “cegos” e não apresentam abertura em uma das extremidades. Também, pode-se ter poros interconectados (d), ou com rugosidade em sua superfície (e). Além destes, tem-se poros cilíndricos (c), afunilados (d) e gargalo de garrafa (b) (FERREIRA, 2019). Os poros ainda podem ser grandes ou pequenos. No caso de poros grandes, os mesmos favorecem a permeabilidade, porém diminuem a eficiência de retenção e resistência do material. Já os poros pequenos, aumentam a queda de pressão, resistência e eficiência da coleta de partículas (MILAK, 2018; SOUSA, 2018).

Normalmente, para se alcançar os poros interconectados em materiais cerâmicos, utiliza-se materiais de sacrifício na mistura, também conhecidos por agentes porogênicos, sendo este composto de matéria orgânica e se decompõe no processo de queima (FERREIRA, 2019; BELTRÃO, 2011; YANG *et al.*, 2020). As características destes poros se darão pela forma, tamanho e quantidade do agente utilizado, ou seja, quanto maior a quantidade utilizada, maior a porosidade da peça cerâmica (BELTRÃO, 2011; YANG *et al.*, 2020). Também, pode influenciar na resistência do material, sendo que, quanto maior sua porosidade, menor será a resistência (SILVA, 2018). A partir disso, diversas são as formulações cerâmicas empregadas na fabricação de filtros cerâmicos.

## **2.7. Formulações cerâmicas constituídas por diferentes agentes porogênicos**

Em uma pesquisa realizada por Dung *et al.* (2021) filtros cerâmicos foram produzidos com casca de arroz (20% em peso) e caulim, sendo avaliado a importância da temperatura de queima nas propriedades. As temperaturas estudadas foram de 900 a 1100 °C, onde a porosidade da estrutura diminuiu de 49,4 a 30,2%, sendo que a temperatura excelente seria de 1050 °C, tanto para aumentar sua eficiência de remoção, quanto para elevar sua resistência mecânica.

Filtros cerâmicos preparados por Zereffa e Bekalo (2017) apresentavam de 70 a 80% de argila, de 25 a 15% de serragem e 5% de chamote, e foram sinterizados em temperaturas de 900, 950 e 1000 °C sendo avaliados propriedades como taxa de vazão, pH, condutividade e eficiência de remoção. Os filtros com 15% de serragem, 80% de argila e 5% de chamote, sinterizados em 950 e 1000 °C apresentaram melhores eficiências de remoção.

Já no trabalho de Ferreira (2019) foram elaborados filtros cerâmicos, sendo utilizado resíduo de caulim como matéria-prima alternativa, em frações finas e grossas, e dois tipos de serragem de madeira como agente porogênico. As amostras foram conformadas por prensagem em forma de discos e, sinterizados por queima rápida em temperaturas de 1150, 1200 e 1250 °C. Ao final, foram caracterizadas quanto a morfologia e mineralogia, além do estudo de propriedades como fluxo permeado e resistência mecânica. Foi obtido como melhor resultado a amostra com proporções de 22,5% de fração fina, 67,5% de fração grossa e 10% de argila, sinterizados a 1200 °C, sendo as únicas que não sofreram deformação durante o fluxo permeado, além de apresentarem maior resistência mecânica. Também, foi concluído que, a micrografia destas amostras apresentou poros com tamanho de 10 µm, sendo utilizado para aplicações de filtração.

A pesquisa de Xavier (2018) elaborou filtros cerâmicos, denominados pelo autor como membranas cerâmicas planas e tubulares, reaproveitando casca de ovo e amido de mandioca como aditivos em concentrações de 5, 10 e 15%, e argila natural. O método utilizado para as membranas planas foi por prensagem e para as tubulares por extrusão. As membranas foram sinterizadas em temperaturas de 950 e 1100 °C.

As membranas tubulares apresentaram valores maiores de porosidade aparente e resistência mecânica do que as planas.

Carmo *et al.* (2022) preparou filtros cerâmicos utilizando argila chocobofo, concentrado de magnesita e resíduo de granito em diferentes proporções. Os filtros foram fabricados em formato de disco e sinterizados em uma temperatura de 650 °C. Foram realizadas medidas de fluxo através do filtro, sendo utilizada uma solução de solvente puro (água destilada) em pressões de 100, 200 e 300 kPa. A porosidade obtida pelo material foi de 39% com uma resistência mecânica de 0,55 MPa. E os fluxos foram de 300 L/h.m<sup>2</sup> para 100 kPa, 170 L/h.m<sup>2</sup> para 200 kPa e 350 L/h.m<sup>2</sup> para 300 kPa de pressão, nos primeiros 10 minutos de operação.

Filtros cerâmicos foram preparadas por Mouratib *et al.* (2020) utilizando lodo de tratamento de água potável, argila e amido de milho como agente porogênico. Os filtros foram prensados a seco, e sinterizados em temperaturas de 950 a 1150 °C. Foram realizadas medições de permeabilidade em duas soluções: água sintética contendo fermento em pó e efluente de indústria têxtil. Os filtros sinterizados em 1050 °C não apresentaram defeitos, além de atingir porosidade de 46,7%, tamanho de poro de 0,92 µm, resistência mecânica de 14,5 MPa, permeabilidade de 7,245 L/h.m<sup>2</sup>.kPa, além de reduzir a turbidez das soluções utilizadas (96,5 a 98,6%).

Malik *et al.* (2020) produziu filtros cerâmicos utilizando dolomita como agente porogênico, cinzas volantes, afim de atingir uma gestão eficaz dos resíduos sólidos, e caulim. Os filtros foram fabricados em formato circular e sinterizados em temperaturas de 800, 900 e 1000 °C. O filtro contendo 20% de dolomita, 17,5% de cinzas volantes e 52,5% de caulim, sinterizado em 900 °C apresentou melhores resultados, sendo que obteve porosidade de 46,3%, tamanho de poro de 0,63 µm e 49,4 MPa de resistência. Foram realizados testes de fluxo permeado no filtro através da passagem de uma solução contendo óleo, com pressões de 103 e 207 kPa, obtendo-se uma qualidade média de permeado.

Oyanedel-Craver e Smith (2007) fabricaram filtros cerâmicos cilíndricos constituídos por argila, grogue (argila queimada) e farinha, nas proporções de 40, 50 e 10%, respectivamente, sendo posteriormente impregnado com prata coloidal. Foi constatado que, utilizando uma maior porcentagem de farinha o filtro quebrava facilmente, e quando se aumentava o teor de argila, a vazão se tornou baixa. A taxa

de temperatura de queima foi de 150 °C/h até 600 °C, e depois de 300 °C/h até 900 °C. A porosidade alcançou 41,9% e, os filtros (sem aplicação de prata coloidal) foram capazes de remover 97,86% e 99,97% de *E.coli* da água.

Filtros cerâmicos também foram produzidos por Hussain e Al-Fatlawi (2020) através da mistura de caulim e fibra de juta. Os filtros foram confeccionados em proporções de 15, 20 e 25%, e denominados de filtros 1, 2 e 3. A porosidade alcançada foi de 40; 51,3 e 63,1%, e as taxas de fluxo foram de 1,57 L/h, 1,95 L/h e 2,43 L/h, para os filtros 1, 2 e 3, respectivamente. As vazões apresentaram valores altos no início da operação, e foram reduzindo conforme o aumento do volume de água filtrada. Devido a estes resultados, estes filtros podem ser utilizados para tratar água suficiente para uma família pequena comer e beber.

Nota-se a partir das diferentes formulações que a argila está presente em todas as composições, desempenhando um papel importante na fabricação dos filtros/membranas cerâmicas, pois, segundo Konta (1995) possuem propriedades abrangentes e baixo custo (KONTA, 1995).

## **2.8. Argila**

As argilas são constituídas de partículas de argilominerais que apresentam tamanho inferior a 2 µm, mas podem conter também outros minerais como o quartzo, a dolomita e a gipsita, além de matéria orgânica e outras impurezas (KUMARI e MOHAN, 2021; GUIMARÃES *et al.*, 2021). Elas podem apresentar diferentes colorações, podendo variar do branco ao cinza opaco, ou do marrom para o vermelho-alaranjado (KUMARI e MOHAN, 2021), dependendo da presença de compostos de ferro, manganês, titânio ou matéria orgânica (CRUZ *et al.*, 2022).

A argila é encontrada de forma natural, apresentando granulometria fina e, quando misturada com água, atinge propriedades como a plasticidade, facilitando sua moldagem na etapa de conformação. Essa propriedade depende do tamanho e estrutura cristalina dos argilo-minerais, além da capacidade de troca catiônica (SOUSA, 2018; CRUZ *et al.*, 2022). Estes argilo-minerais são silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio que apresentam uma estrutura formada em camadas (SILVA *et al.*, 2021; CRUZ *et al.*, 2022).



A composição química das argilas normalmente é apresentada na forma de óxidos. Bohn *et al.* (2021) analisaram a composição química da argila utilizada através da espectroscopia por energia dispersiva, averiguando que o caulim apresentava elementos como oxigênio, silício e alumínio em maior concentração, sendo estes responsáveis pela refratariedade. Scharnberg *et al.* (2019) também caracterizaram a argila empregada em seu trabalho através da fluorescência por raios-X (FRX), constatando basicamente sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) em sua composição. Oliveira *et al.* (2022) analisaram a composição química da argila de Angélica (Brasil) através da FRX, encontrando em sua maioria óxidos como a sílica e a alumina. Assim, nota-se que em diferentes argilas ocorre a predominância destes elementos.

Através da análise de composição química, pode-se observar como será o comportamento da argila na peça cerâmica, não se limitando apenas a fornecer plasticidade ao material. A presença de sílica na argila provém de material argiloso ou quartzo livre (PEÇANHA JUNIOR, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2022). O quartzo fornece resistência mecânica e química, sofrendo dilatação volumétrica na temperatura de 573 °C, mas sendo reversível no resfriamento. Assim, se a sílica livre apresentar maior presença na argila, quando aquecida sofrerá expansão, ou seja, alteração de volume, podendo reduzir a resistência mecânica, e causando trincas em volta das partículas de quartzo (VIEIRA e PINHEIRO, 2011; PEÇANHA JUNIOR, 2006), além de tornar o material mais poroso e permeável (CULTRONE *et al.*, 2004). O quartzo também diminui a retração de queima da peça cerâmica, devido ao aumento da refratariedade. Quanto a plasticidade, quanto maior a quantidade de sílica na argila, menor sua plasticidade (PEÇANHA JUNIOR, 2006; GUIMARÃES *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2017).

Além da sílica, a alumina também foi encontrada nos trabalhos citados acima. Este óxido, encontra-se em sua maioria, presente na argila, indicando a quantidade de argilominerais e a plasticidade da matéria-prima (PEÇANHA JUNIOR, 2006). Também, é responsável por aumentar a resistência mecânica de uma peça feita de argila (GUIMARÃES *et al.*, 2021).

A composição da argila também implicará nas características do material durante a queima, como verificado no estudo de Cultrone *et al.* (2004). O trabalho consistiu em verificar a influência da argila, com e sem carbonetos, sinterizada em

diferentes temperaturas de queima, na porosidade de tijolos. Em 800 e 900 °C, a argila com carbonetos apresentou maior fase cristalina levando a uma maior ligação das partículas. Em 900 e 1000 °C, os tijolos não carbonatados apresentaram uma redução na conectividade dos poros, sofrendo uma vitrificação significativa. Em 1100 °C, ocorreu uma redução na quantidade de poros nos tijolos não carbonatados, sendo que nos carbonatados, a redução é menor devido a formação de silicatos de cálcio e magnésio. Assim, verifica-se uma modificação na porosidade do material e, conseqüentemente, na sua resistência.

Devido a composição da argila influenciar em sua resistência, a inclusão de diferentes constituintes no material cerâmico é estudada em diversos trabalhos afim de aumentar essa propriedade. Entre estes materiais podemos citar o resíduo de vidro (BOHN *et al.*, 2021; CALDAS *et al.*, 2011).

## **2.9. Resíduo vidro**

O resíduo vidro é um exemplo de resíduo advindo da construção civil. É um material amorfo e inorgânico, sendo constituído em sua maior parte pela sílica (SIMÕES, 2013; SANTOS, 2016; GONÇALVES, 2018). É obtido pela fusão de óxidos que em seguida são resfriados, alcançando sua rigidez (SANTOS, 2016).

Este material pode ser completamente reciclado na fabricação de vidros novos (OLIVEIRA *et al.*, 2012; BOHN *et al.*, 2021), mas seu processo de produção não aceita impurezas em sua composição ou coloração, devendo ser feita uma separação entre vidros com cores diferentes (BOHN *et al.*, 2021; GALVES *et al.*, 2021). Isto acaba afetando seu valor de reciclagem, gerando um baixo valor de sucata (FLOOD *et al.*, 2020; BOHN *et al.*, 2021).

Como uma alternativa ecossustentável, pode-se diminuir o depósito de resíduo vidro em aterros sanitários, surgindo a possibilidade de inserção deste na cerâmica, e agregando à esta classe de materiais propriedades melhoradas quanto à fusibilidade (atuação como agente fundente em massas cerâmicas) (DEMIR, 2009), aumento da resistência à compressão e diminuição da temperatura de queima (BOHN *et al.*, 2021).

Essa melhora das propriedades é possível em virtude da semelhança de composição química entre o vidro e as cerâmicas constituídas por sílica, óxido de

sódio e o óxido de cálcio (GODINHO, HOLANDA e SILVA, 2005; ZACCARON *et al.*, 2019). Segundo Cruz *et al.* (2022) cerca de 70% do vidro soda-cálcico é formado por sílica, 10% por óxido de cálcio e 15% de óxido de sódio.

Em razão disso, o resíduo vidro pode ser utilizado para diferentes aplicações, como demonstrado na Tabela 1:

Tabela 1 - Temperaturas de queima e características para diferentes formulações.

<b>Aplicações</b>	<b>Agente fundente máximo</b>	<b>Faixa de temperatura (°C)</b>	<b>Referências</b>
Pavimentação cerâmica	60% vidro de garrafas	900 – 1000	Bohn <i>et al.</i> (2021)
Massa cerâmica para alvenaria	20% vidro de garrafas	800 – 1000	Zaccaron <i>et al.</i> (2019)
Peças cerâmicas	10% vidro plano	850 – 1050	Caldas <i>et al.</i> (2019)
Peças cerâmicas	10% vidro de garrafas	850 – 1050	Demir (2009)
Peças cerâmicas	30% vidro de lapidação	850 – 1050	Busch (2016)

Fonte: Os autores, 2024.

De acordo com a Tabela 1, nota-se diferentes possibilidades de aplicação incorporando resíduo vidro em formulações cerâmicas, demonstrando um conceito próximo ao ser estudado. Percebe-se que, foram evidenciadas diferentes características no material cerâmico como, aumento da resistência mecânica (CALDAS *et al.*, 2019; DEMIR, 2009), e diminuição da temperatura de queima, reduzindo o consumo de energia (BOHN *et al.*, 2021).

Devido ao resíduo vidro melhorar algumas propriedades da formulação cerâmica, como a resistência mecânica, e com o intuito de desenvolver um filtro cerâmico poroso no trabalho, incorporou-se junto a formulação um agente porogênico. Como visto anteriormente, diferentes agentes porogênicos podem ser misturados com argila afim de obter um filtro cerâmico. Assim, um resíduo que pode ser incorporado em formulações cerâmicas afim de controlar a porosidade do material é a erva-mate (SCHARNBERG *et al.*, 2019). Deste modo, essa matéria-prima foi estudada no trabalho afim de obter a porosidade dos filtros cerâmicos.

## 2.10. Erva-mate

A erva-mate é processada através de folhas e caules da planta *Ilex Paraguariensis*, passando pelo processo de colheita, sapeco (inativação enzimática), secagem (até atingir 3% de umidade), moagem, envelhecimento e preparação final (ISOLABELA *et al.*, 2010; CROGE *et al.*, 2021). Essa, é utilizada no preparo de uma bebida conhecida como “mate” ou “chimarrão” e do “tererê”, sendo consumida socialmente em países como a Argentina, Brasil, Uruguai, Paraguai e Chile. No Brasil, o estado do Rio Grande do Sul é o que mais consome a erva-mate para o chimarrão (BURRIS *et al.*, 2012; NEVES *et al.*, 2020; CROGE *et al.*, 2021).

O chimarrão consiste na técnica de extração sólido-líquido, ou seja, ocorre a infusão das folhas em um solvente líquido que neste caso é a água quente, onde acontece a extração de solúveis presentes na erva-mate, sendo sorvidas através de um tubo e uma cuia. Essa extração depende da temperatura da água, tempo de contato, contato efetivo das fases e grau de subdivisão da erva-mate (GIULIAN, 2005; CROGE *et al.*, 2021).

As plantas de erva-mate são constituídas por polifenóis, saponinas e xantinas. Os polifenóis incluem ácido cafeico, cafeína, ácido de cafeiol, entre outros. Estes, são responsáveis pelo fornecimento de proteção ao tecido corporal, ajudando no combate ao envelhecimento, câncer, inflamações, entre outros (ISOLABELA *et al.*, 2010). A quantidade dos polifenóis depende de fatores do crescimento e processamento da planta. As saponinas espumam quando agitadas e fornecem um efeito hipocolesterêmico, ou seja, formam complexos com os ácidos biliares e o colesterol.

As xantinas dão à erva-mate seu sabor amargo e efeitos estimulantes, e são constituídas pela cafeína, teobromina e teofilina, sendo que, no consumo do “mate” pode-se ter a liberação de cerca de 260 mg de cafeína por porção (BURRIS *et al.*, 2012; MORAIS, 2009).

A composição da erva-mate pode trazer muitos benefícios para a saúde humana pois apresenta vitaminas como B1 e B2, que auxiliam no aproveitamento do açúcar nos nervos, músculos e atividade cerebral do homem, além de vitaminas C e E que participam da defesa orgânica, e sais minerais como o potássio, magnésio, cálcio, dentre outros, que em conjunto com a cafeína, ajudam na circulação do sangue (NEVES *et al.*, 2020; RIBEIRO, 2018; MORAIS, 2009).

Diferentes autores estudaram a composição química da erva-mate. Caniza (2017) encontrou em diversas marcas de erva-mate os elementos magnésio, alumínio, silício, fósforo, enxofre, cloro, potássio. Henrique (2018) encontrou valores de concentração para diferentes elementos, sendo de 6,33 a 12 mg/g de sódio, 0,20 a 0,66 mg/g de zinco, 101 a 209 mg/g de potássio e 134,75 a 656 mg/g de magnésio, em três amostras do Rio Grande do Sul. Giulian (2005) avaliou a concentração média dos elementos presentes na erva-mate antes e após sua infusão, sendo encontrados elementos como magnésio, fósforo, potássio, cálcio, entre outros. Os elementos com maiores concentrações médias iniciais foram o potássio e cálcio, apresentando 15599 e 6785 ppm, respectivamente, e após a infusão 1185 ppm para o potássio e 6770 ppm para o cálcio, demonstrando o quanto o elemento se dissolveu em água e foi ingerido através da bebida. Além disso, Giulian (2005) também estudou a média dos elementos que foram absorvidos pela erva-mate após o preparo do chimarrão, observando que elementos como o cálcio, titânio, enxofre e alumínio praticamente não se alteram. Já elementos como cloro e potássio apresentaram uma maior solubilidade.

Além da caracterização química, Neves *et al.* (2020) caracterizaram termicamente a erva-mate, demonstrando que até a temperatura de 400 °C ocorre uma maior perda de massa devido à presença umidade, mas principalmente ao seu alto teor de lignina, celulose, hemicelulose e extrativos. Já acima desta temperatura, ocorre o aumento da massa de carvão de lignina e carvão de hemicelulose

Rzaşa-Duran *et al.* (2022) estudaram a composição química de diferentes fontes de erva-mate, encontrando concentrações de 144,8 mg/L de magnésio na infusão da

amostra de origem do Brasil, e 44,5 mg/L para a originada do Paraguai. As concentrações de zinco foram de 3,14 mg/L e 1,00 mg/L para os países Paraguai e Brasil, respectivamente. Já para o manganês foram obtidos 3,67 mg/L para o país de origem da Argentina e 1,70 mg/L em erva-mate do Paraguai. Também, foram estudados os compostos orgânicos presentes na erva-mate, averiguando-se que a amostra originada do Brasil foi a que apresentou maior teor de compostos orgânicos, destacando-se o ácido neoclorogênico e ácido clorogênico.

Devido a erva-mate se tornar um resíduo após sua infusão, e apresentar em sua composição compostos orgânicos, essa pode ser utilizada como um agente porogênico em materiais cerâmicos, objetivando-se a porosidade do material (FERREIRA, 2019; BELTRÃO, 2011; YANG *et al.*, 2020).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais utilizados para o desenvolvimento do estudo, assim como o preparo dos filtros cerâmicos. Também serão descritos os ensaios realizados com os corpos de prova.

#### 3.1. Matérias-primas e formulações

Os filtros cerâmicos foram produzidos pela mistura da argila, do resíduo erva-mate e do resíduo vidro sodo-cálcico. A argila selecionada é uma matéria-prima utilizada para a produção de tijolos, obtida de uma jazida da cidade de Feliz/RS, sendo utilizada também em uma investigação anterior. Assim, a caracterização desta argila, tais como composição química e mineralógica, foi desenvolvida por Almeida *et al.* (2023). A composição química foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios-X, evidenciando a presença de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e as composições mineralógicas por difração de raios-X, destacando-se a caulinita, quartzo, ortoclase, hematita e fases cristalinas (ALMEIDA *et al.*, 2023).

O resíduo vidro soda-cal-sílica utilizado foi de cor âmbar. Segundo um estudo de literatura realizado por Zimmer e Bragança (2019), a composição química do vidro soda-cal-sílica é semelhante em diversos estudos realizados em diferentes regiões do mundo. Deste modo, levou-se em consideração a composição química do resíduo vidro estudada por Scharnberg *et al.* (2019) determinada por espectroscopia de fluorescência de raios-X, e que verificou principalmente  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$ , assim como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  que caracterizam sua coloração âmbar.

A erva-mate após infusão em uma bebida chamada chimarrão foi utilizada como agente porogênico devido à sua alta decomposição em temperaturas abaixo de  $550\text{ }^\circ\text{C}$ , uma vez que resulta em cinzas totais entre 5,5 e 6,2% (ROSSI e LOZANO, 2020; SCHARNBERG *et al.*, 2019) e a presença de compostos orgânicos (FERREIRA, 2019; BELTRÃO, 2011; YANG *et al.*, 2020). Com isso, considerou-se a composição química da erva-mate após infusão estudada por Scharnberg *et al.* (2019) que caracterizaram através da espectroscopia de fluorescência de raios-X destacando-se a presença de  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{MgO}$ , e Neves *et al.* (2020) que

analisaram através da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) destacando-se a celulose, hemicelulose, lignina e umidade.

Foram preparadas três formulações em que houve a variação dos percentuais de erva-mate, e conseqüentemente da argila, sendo mantido o teor do resíduo vidro, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Formulações desenvolvidas com as quantidades de matérias-primas utilizadas (% em massa).

<b>Formulações</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Erva-mate (%)</b>	<b>Vidro (%)</b>
0E10V	90	0	10
10E10V	80	10	10
20E10V	70	20	10

Fonte: Os autores, 2024.

Os percentuais utilizados foram definidos a partir de ensaios anteriores, levando-se em consideração que, as porcentagens de 0, 10 e 20% de erva-mate foram estudadas por Scharnberg *et al.* (2019), e o teor do resíduo vidro mantido em 10% apresentou melhores resultados quando adicionados em material cerâmico (PHONPHUAK *et al.*, 2016).

A partir das formulações definidas, foi realizada a secagem em estufa modelo 5 da marca Med Clave, da erva-mate a 45 °C, do vidro e da argila a 105 °C. A erva-mate foi moída em moinho de facas SL-31 da marca Solab e peneirada em uma peneira de 60 malhas com abertura de 250 µm. O restante da erva-mate que ficou retida na peneira foi moído novamente, repetindo-se o processo até o peneiramento total. O resíduo vidro foi quebrado e moído em moinho de martelo CT-12058 da marca Servitech, assim como a argila.



### 3.2. Preparação dos filtros cerâmicos

A argila, o resíduo de erva-mate e de vidro foram pesados e adicionados em moinho excêntrico modelo CB2-T da marca BP Engenharia, onde foram moídas e misturadas por 15 min. Após, foram adicionados 8% (em massa) de água, misturando-se manualmente. Em seguida, as formulações foram colocadas em um recipiente hermético por 24 h.

Depois deste processo, o material foi prensado em uma prensa hidráulica da marca Mawil e, foram obtidas amostras circulares com diâmetro de 50 mm, a fim de avaliar o desempenho do filtro cerâmico, e retangulares com dimensões de 76 x 36 mm, para medir suas propriedades físicas. As dimensões foram obtidas através dos moldes utilizados. Foi aplicada a pressão de 20 MPa para conformação dos corpos de prova, sendo este valor definido a partir de estudos preliminares.

Após esse processo, as amostras foram deixadas em temperatura ambiente ( $\sim 20$  °C) por 24 h, e depois colocadas em estufa a 110 °C até alcançar sua secagem completa. Estes procedimentos foram realizados para evitar que ocorressem defeitos (trincas) nas peças durante a etapa de queima. Passado este tempo, os corpos de prova foram sinterizados em forno tipo mufla modelo 24010 marca Jung em 900 e 950 °C, temperaturas já estudadas em trabalhos como de Bohn *et al.* (2021) e Scharnberg *et al.* (2019), sendo utilizada uma taxa de aquecimento de 1,6 °C/min com patamar de 5 min, definidas a partir de estudos preliminares.

Na Tabela 3 está sendo apresentado o número de amostras para cada formulação e temperatura de queima. Foram preparados corpos de prova em triplicata para cada ensaio, totalizando em 144 amostras retangulares e 36 amostras circulares. No ensaio de resistência à flexão, foram estudadas as amostras sinterizadas (em 900 e 950 °C), e a verde (sem queima). Para os ensaios de lixiviação e retenção de microplásticos, utilizaram-se somente amostras sinterizadas na temperatura que apresentou melhor resultado de vazão.

Tabela 3 - Número de amostras preparadas para cada formulação e temperatura de queima.

Ensaio	Formato	N° de amostras (cada formulação)		
		900 °C	950 °C	a verde
Perda ao fogo e retração linear	Retangular	9	9	-
Absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente	Retangular	6	6	-
Resistência à flexão	Retangular	6	6	6
Microscopia óptica	Circular	1	1	-
Vazão mássica	Circular	2	2	-
Ciclo de pressão versus vazão mássica	Circular	2	-	-
Lixiviação	Circular	2	-	-
Retenção de microplásticos	Circular	2	-	-

Fonte: Os autores, 2024.

### 3.3. Avaliação e caracterização dos filtros cerâmicos

Os corpos de prova foram avaliados quanto a perda ao fogo, retração linear, absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente. Para o ensaio de resistência à flexão, amostras não sinterizadas também foram testadas. Os resultados foram demonstrados através da média dos valores obtidos.

As amostras avaliadas quanto a perda ao fogo e retração linear foram pesadas e medidas, antes e após o processo de queima, calculando-se os valores através das Equações 1 (perda ao fogo) e 2 (retração linear):

$$PF = \frac{Ms - Mq}{Ms} \cdot 100 \quad (1)$$

$$RL = \frac{Li - Lf}{Li} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

$PF$  = perda ao fogo (%);

$Ms$  = massa seca (g);

$Mq$  = massa após a queima (g);

$RL$  = retração linear (%);

$Li$  = comprimento inicial (mm);

$Lf$  = comprimento final (mm).

Para os ensaios de absorção de água, densidade aparente e porosidade aparente, foi seguida a norma ABNT NBR ISO 10545/3 – Placas Cerâmicas - Parte 3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa e densidade aparente. Assim, as amostras foram secas em estufa, com temperatura de 110 °C até secagem completa. Após, foi realizada a medida da massa das amostras. Em seguida, o material foi imerso em água por 24 h, e mensurado a massa novamente para determinar sua massa suspensa.

Após a impregnação, as amostras foram enxugadas com um pano de microfibras e pesadas novamente, obtendo-se a massa úmida. Através destes valores, foram calculados a absorção de água (Equação 3), a densidade aparente (Equação 4) e a porosidade aparente (Equação 5).

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \cdot 100 \quad (3)$$

$$DA = \frac{Ms}{Mu - Mi} \quad (4)$$

$$PA = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

*AA* = absorção de água (%);

*DA* = densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

*PA* = porosidade aparente (%);

*Ms* = massa seca (g);

*Mu* = massa úmida (g);

*Mi* = massa suspensa impregnada (g).

A resistência à flexão foi realizada com base na norma NBR ABNT ISO 10545/4 – Placas cerâmicas – Parte 4: Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. Deste modo, as amostras foram secas em estufa na temperatura de 110 °C. A resistência à flexão foi avaliada através da ruptura feita por um flexímetro de três pontos e carregamento de 4,2 mm/s nos corpos de prova. A distância entre as barras de apoio foi de 49 mm. Com estes valores, foi determinado a resistência à flexão a partir da Equação 6:

$$R = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot B \cdot h^2} \quad (6)$$

Onde:

*R* = módulo de resistência à flexão (N/mm<sup>2</sup>);

*F* = carga de ruptura (N);

*l* = distância entre as barras de apoio (mm);

*B* = lado menor do corpo de prova (mm);

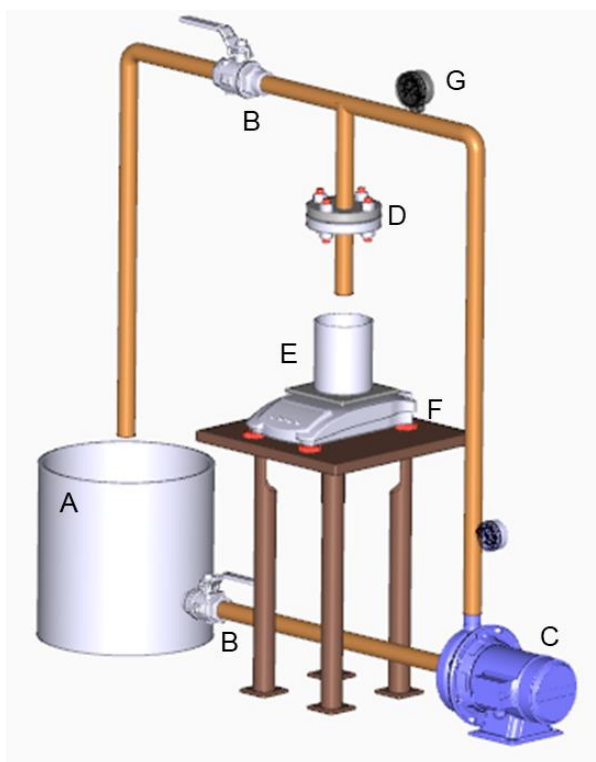
*h* = espessura mínima do corpo de prova (mm).

Também, foi analisado a superfície dos corpos de prova através de um microscópio óptico da marca Physis, com um aumento de 50x, a fim de visualizar a superfície dos filtros cerâmicos.

### 3.4. Desenvolvimento de um aparato para avaliação dos filtros cerâmicos

Em busca de avaliar a vazão do fluido através dos filtros produzidos, foi desenvolvido o sistema demonstrado na Figura 3. Este, apresenta um tanque de armazenamento de água (A), registros (B), uma bomba hidráulica (C), suporte contendo o filtro cerâmico (D), recipiente para coleta de água (E), uma balança (F) e um manômetro (G).

Figura 3 - Sistema utilizado para ensaio de vazão mássica dos filtros cerâmicos.



Fonte: Os autores, 2024.

A partir do sistema demonstrado, o filtro cerâmico foi colocado na cavidade da parte inferior do suporte (D), sendo posicionado sobre ele um anel de vedação Oring e fixado o suporte superior no inferior por quatro parafusos. Depois, colocou-se água

tanque de armazenamento (A), ligou-se a bomba hidráulica, ajustou-se a pressão através do registro (B), sendo verificado através do manômetro (G), e coletou-se a água que passava através do filtro cerâmico pelo recipiente (E), verificando a massa coletada através da balança (F).

Com isso, foram aplicados diferentes valores de pressão relativa ( $\Delta P$ ), que foram mantidos fixos, sendo que, para a formulação 20E10V foram de 0, 50 e 100 kPa, sendo coletado água de 3 em 3 min. Já para as formulações 10E10V foi coletado de 5 em 5 min e para 0E10V de 10 em 10 min, para as pressões de 50, 100, 150 e 200 kPa, em ambas. A diferença no tempo de coleta de água foi para manter uma massa de fluido total semelhante passada pelos filtros desenvolvidos. Assim, para cada pressão, foi verificado a massa coletada, calculando-se a vazão mássica através da Equação 7.

$$Q = \frac{m}{t} \quad (7)$$

Onde:

$Q$  = vazão mássica (g/s);

$m$  = massa (g);

$t$  = tempo (s).

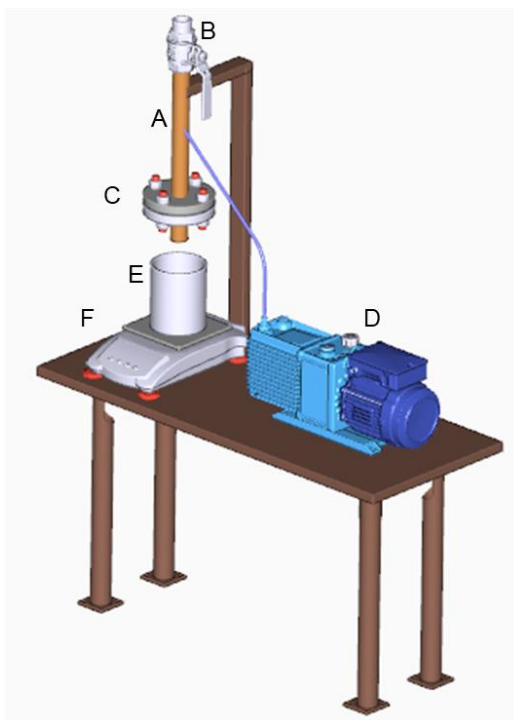
A partir deste ensaio, e com o propósito de identificar se ocorriam variações na vazão de água através das amostras, em função da modificação na estrutura do material, como é o caso do aumento dos poros ou de rupturas na estrutura, tais como o surgimento de trincas, realizou-se o experimento de histerese. Assim, foi aplicado um ciclo de aumento e redução da pressão do fluido, verificando se ocorriam mudanças em sua vazão. O ensaio foi realizado no sistema demonstrado pela Figura 3.

### 3.5. Lixiviação

Com o intuito de verificar a ocorrência de lixiviação dos elementos sódio e potássio que estão presentes nas composições dos filtros cerâmicos, foi realizado a

passagem de água destilada pelo filtro. Para isto, foi utilizado o sistema contendo um tubo (A) com registro (B) para a armazenagem de água, suporte contendo o filtro cerâmico (C), compressor de ar (D), recipiente para coleta de água (E) e uma balança (F), como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Sistema utilizado para o ensaio de lixiviação e remoção de microplásticos



Fonte: Os autores, 2024.

Assim, foram colocados 50 mL de água destilada, sendo este o volume máximo do tubo (A), ligado o compressor de ar (D) com pressão fixa de 100 kPa e coletado o volume de água no recipiente (E). A partir disso, buscou-se identificar a presença dos elementos de sódio e potássio no filtrado, sendo realizado suas medidas relativas através de um fotômetro de emissão atômica da marca Analiser, modelo 910M, com linhas de emissão de 588 nm para o sódio e 766,5 nm para o potássio.

Realizou-se o estudo do sódio e do potássio devido à sua presença no resíduo vidro (ZIMMER e BRAGANÇA, 2019; PHONPHUAK *et al.*, 2016), na erva-mate (CROGE *et al.*, 2021; BASTOS *et al.*, 2007) e apresentar alguns íons na argila (ALEMIDA *et al.*, 2023), que podem ser extraídos através do processo de lixiviação.

Com o intuito de averiguar se ocorria alguma diferença na lixiviação do sódio e do potássio durante a passagem do fluido pelo filtro, repetiu-se a filtração para a formulação 20E10V por mais duas vezes. Assim, após a coleta de 50mL, repetiu-se o processo de filtragem com mais 50 mL, coletando-se a segunda amostra. Em seguida, mais 50 mL foram colocados no tubo (A) e filtrados, totalizando em 150 mL de água coletados. Cada uma dessas amostra foi identificada quanto aos elementos sódio e potássio, sendo avaliado se ocorriam alterações nas amostras de água em razão da quantidade filtrada.

### **3.6. Retenção de microplásticos**

Com o objetivo de avaliar os filtros cerâmicos desenvolvidos quanto a retenção de microplásticos presentes em água, sintetizou-se uma suspensão em laboratório a partir do plástico de poliestireno (PS), sendo este definido por sua rigidez e densidade superior à da água – no primeiro caso capaz de moer em microescala e secundamente de dispersá-lo em água. Assim, o plástico foi primeiramente fragmentado com um martelo e após triturado no moinho de facas SL-31 da marca Solab. Por fim, foi moído por duas horas no moinho de bolas excêntrico modelo CB2-T da marca BP Engenharia, para utilização do passante na peneira de malha número 325, com abertura de 45  $\mu\text{m}$ .

Para a obtenção da suspensão, foram misturados 0,2 g de microplásticos em 400 mL de água destilada, e para uma melhor dispersão, a amostra foi colocada em uma cuba de ultrassom da marca Cristófoli modelo 2,5L, com frequência de 42 kHz até sua completa dispersão - cerca de 30 min. Depois, foi medida a turbidez da suspensão em um turbidímetro portátil HI 98703 da marca Hanna.

Após, foram colocados 50 mL da suspensão no sistema demonstrado na Figura 4, aplicando-se a pressão de 100 kPa, coletando-se a amostra e medindo sua turbidez novamente, sendo calculado a eficiência de retenção através da Equação 8. Também, foi calculado a vazão mássica durante a passagem da suspensão contendo microplásticos a partir da Equação 7 para as formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V.



$$ER = \frac{T_{ui} - T_{uf}}{T_i} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

$ER$  = eficiência de remoção (%);

$T_{ui}$  = turbidez inicial (NTU);

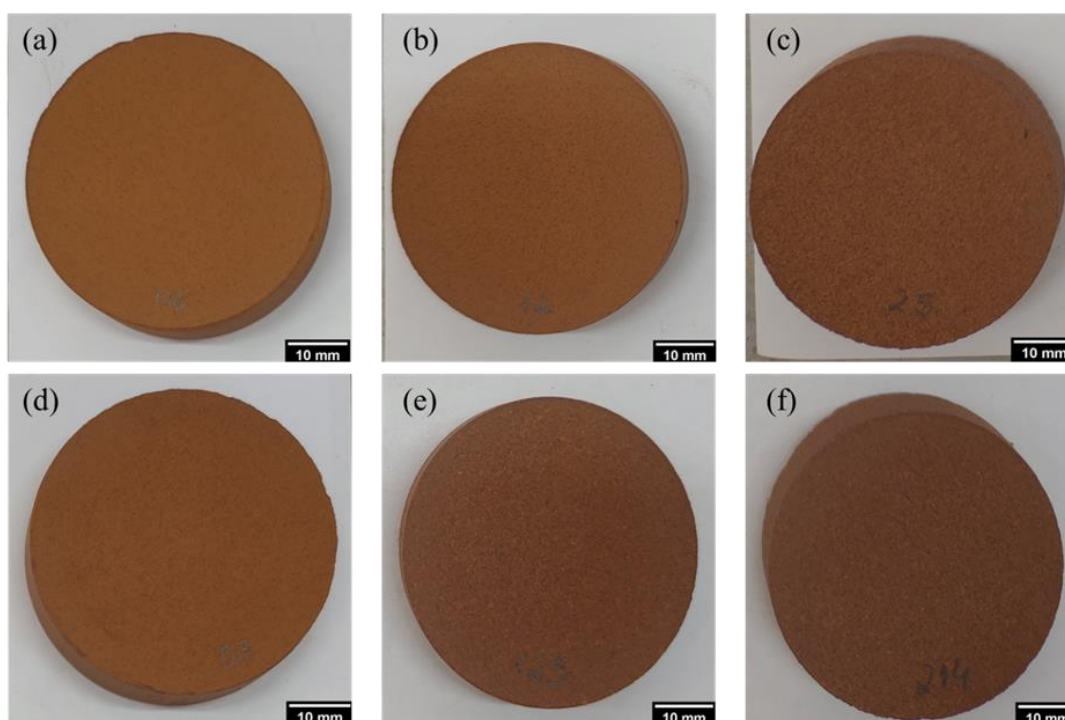
$T_{uf}$  = turbidez final (NTU).

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. Processamento e características do filtro cerâmico

Os filtros cerâmicos desenvolvidos no trabalho estão demonstrados na Figura 5, onde observa-se que as formulações apresentam uma cor avermelhada. De acordo com a composição química da argila utilizada, a qual é caracterizada no trabalho de Almeida *et al.* (2023), essa coloração ocorre em razão dos altos teores de ferro, e que após o processo de queima contribuem com uma coloração mais escura das amostras (ALMEIDA *et al.*, 2023).

Figura 5 – Imagens dos filtros cerâmicos desenvolvidos após ciclo de queima de 900 °C: a) 0E10V; b) 10E10V; c) 20E10V; e a 950 °C: d) 0E10V; e) 10E10V; e (f) 20E10V.



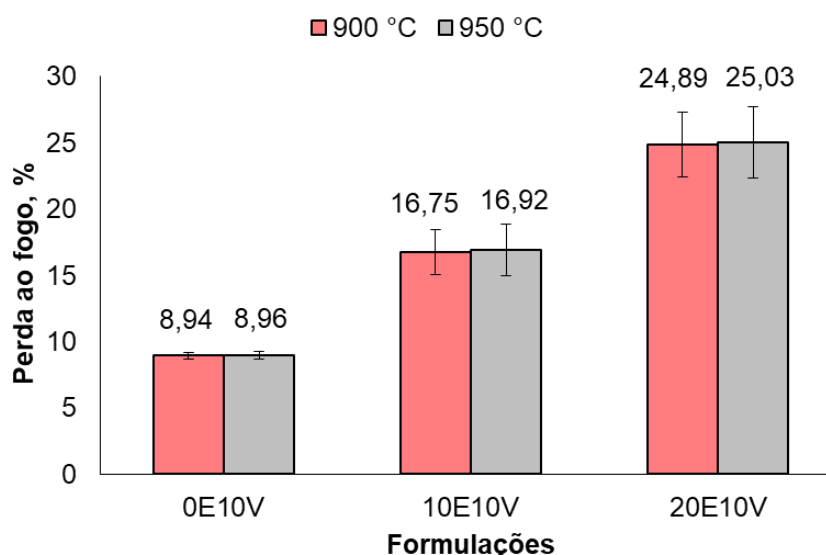
Fonte: Os autores, 2024.

Também, após mensuradas as dimensões dos filtros desenvolvidos, constatou-se que, as formulações 20E10V apresentaram uma maior espessura do que as demais, sendo que as formulações 0E10V alcançaram 7 mm, 10E10V chegaram a 8 mm, e 20E10V atingiram 9 mm. Essa diferença, provavelmente, está relacionada ao empacotamento das partículas (BOHN *et al.*, 2021) visto que, o volume da cavidade no molde de prensagem foi mantido constante para as diferentes formulações. É

previsto que a diminuição ou ausência do agente porogênico promova a redução da porosidade, assim para compensar e favorecer o fluxo, é conveniente que seja reduzido a espessura das amostras destas formulações.

A influência do agente porogênico adicionado às formulações também está associada ao processo de queima. Assim como o teor adicionado, a temperatura de queima também influencia na perda ao fogo do material, como pode ser verificado na Figura 6.

Figura 6 - Perda ao fogo das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas à 900 e 950 °C.



Fonte: Os autores, 2024.

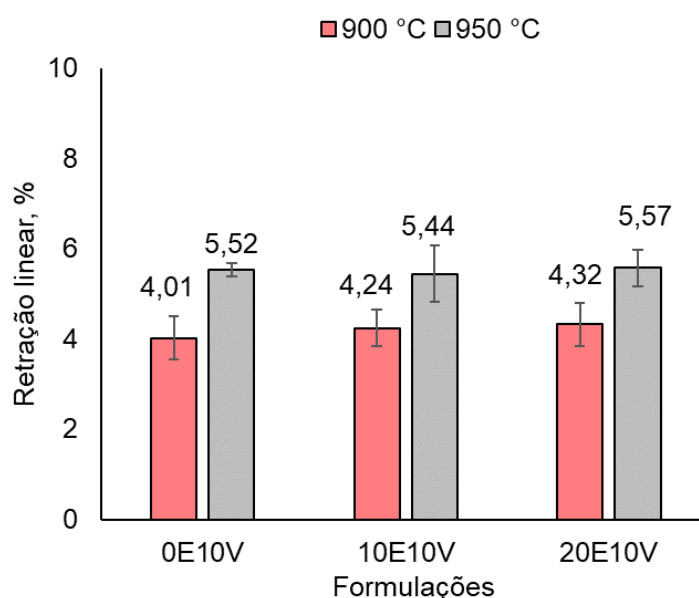
Observa-se na Figura 6 que, conforme se teve o aumento do teor de erva-mate nas formulações, gerou-se uma maior perda ao fogo, variando de  $8,94 \pm 0,3$  a  $25,03 \pm 2,7\%$ . É esperado que essa variação esteja associada a decomposição da matéria orgânica durante a sinterização dos corpos de prova, conforme analisado no trabalho de Scharnberg *et al.* (2019), como também as reduções de massa pós queima podem ser relativas às perdas de umidade, celulose, hemicelulose e lignina, segundo Neves *et al.* (2020).

Também, trabalhos como Worrall (1986), Gurgel *et al.* (2020) e Mustapha *et al.* (2021) demonstram que a argila durante a etapa de queima sofre decomposição de carbonatos, perda de enxofre de piritas e sulfetos, perda de água combinada de óxidos hidratados, desidroxilação de minerais e decomposição de matéria orgânica, interferindo no peso e nas dimensões em corpos de prova queimados.

Já quando se compara as diferentes temperaturas de queima empregadas para uma mesma formulação, não se tem diferença da perda ao fogo, o que está relacionado ao fato de a maior parte ou a decomposição total associada a perda ao fogo ocorrer em 900 °C ou abaixo desta temperatura.

O processo de queima também interfere na retração linear (Figura 7). Houve uma pequena modificação nos valores encontrados para as formulações contendo o mesmo teor de erva-mate, mas sinterizadas em diferentes temperaturas, variando de  $4,01 \pm 0,48\%$  para  $5,52 \pm 0,15\%$  na formulação 0E10V,  $4,24 \pm 0,40\%$  para  $5,44 \pm 0,63\%$  em 10E10V e de  $4,32 \pm 0,49\%$  para  $5,57 \pm 0,40\%$  em 20E10V. Mas não ocorreu diferença quando comparou-se as diferentes formulações na mesma temperatura de queima.

Figura 7 - Retração linear das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas à 900 e 950 °C.



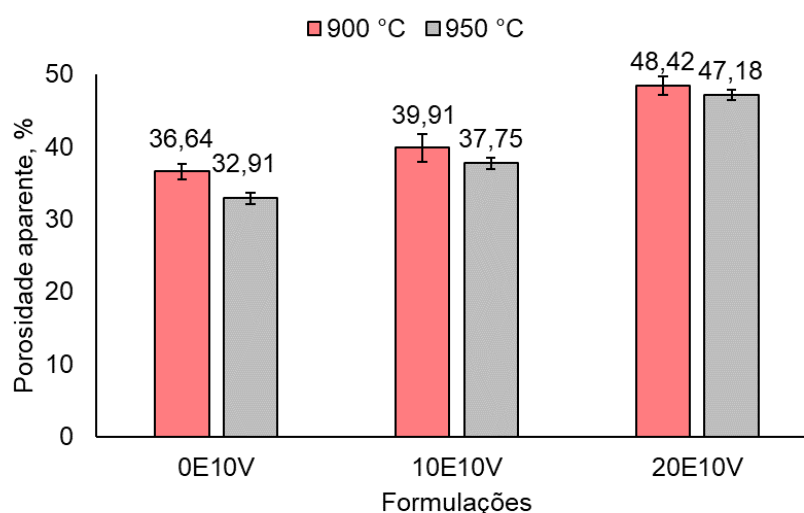
Fonte: Os autores, 2024.

A diferença encontrada ao aplicar-se uma maior temperatura de queima pode estar relacionada ao empacotamento das partículas, ou seja, as partículas de menor tamanho se dispersam entre as de maior tamanho, podendo ainda produzir uma fase líquida, reduzindo o espaço entre as partículas e aumentando sua retração (ARIPIN *et al.*, 2014).

Scharnberg *et al.* (2019) estudaram a retração linear para formulações semelhantes à empregada neste trabalho, porém mantiveram a composição de 20% de vidro, modificando os teores de erva-mate e argila. A partir disso, observaram o aumento da retração linear tanto para a adição dos resíduos vidro e erva-mate, quanto para o incremento da temperatura, encontrando valores de 0,3 a 2,3% para as amostras queimadas em 900 °C, e de 3,0 a 6,1% nas amostras queimadas em 1100 °C.

A partir destes ensaios, constatou-se que, aumentando o teor de erva-mate na formulação, alcançou-se uma maior perda ao fogo (Figura 6), e conseqüentemente maiores porosidades, atingindo  $48,42 \pm 1,26\%$  em 900 °C e  $47,18 \pm 0,70\%$  em 950 °C para a formulação 20E10V, como pode ser demonstrado através da Figura 8. Porém, a aplicação de uma maior temperatura de queima para a mesma formulação demonstrou influência marginal.

Figura 8 - Porosidade aparente das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas a 900 e 950°C.



Fonte: Os autores, 2024.

Observa-se que as formulações 20E10V apresentaram maiores valores de porosidade aparente em suas amostras do que as demais formulações, podendo-se dizer que a erva-mate foi o principal fator para este aumento. Isto pode ser verificado considerando as formulações que apresentaram maiores valores de porosidade aparente, ou seja, sinterizadas em 900 °C. Observa-se que ocorreu um pequeno aumento de  $36,64 \pm 1,07\%$  para  $39,91 \pm 1,93\%$  quando adicionou-se 10% (em massa) de erva-mate. Já ao adicionar 20% (em massa) de erva-mate a porosidade da amostra alcança  $48,42 \pm 1,26\%$ , demonstrando a influência da erva-mate na porosidade aparente.

Além disso, as formulações 20E10V, ou seja, contendo um maior teor de erva-mate, apresentaram, visualmente, uma maior porosidade. Em razão da erva-mate apresentar em sua composição química a presença de sólidos voláteis que indicam a presença de matéria orgânica, como estudado em Scharnberg *et al.* (2019), este material acaba volatilizando durante a queima, gerando uma maior porosidade na formulação com maior teor de erva-mate, e conseqüentemente, uma menor resistência.

A porosidade aparente também foi estudada em trabalhos anteriores para diferentes tipos de agentes porogênicos, como pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 - Porosidade aparente de filtros cerâmicos encontradas para diferentes agentes porogênicos.

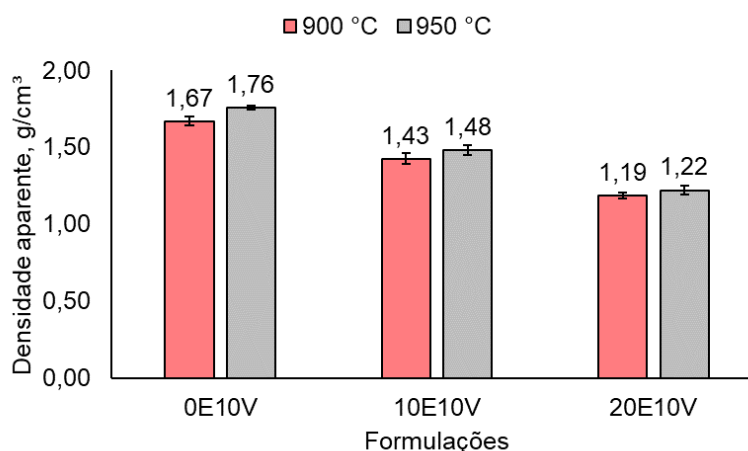
AGENTE POROGÊNICO	TEOR (%)	TEMPERATURA DE QUEIMA (°C)	POROSIDADE (%)	REFERÊNCIA
Serragem	25	700	63,91	Bulta e Micheal (2019)
Casca de arroz	35	1000	56,60	Dung <i>et al.</i> (2021)
Amido de milho <sup>1</sup> e lama <sup>2</sup>	5 <sup>1</sup> +85 <sup>2</sup>	950	64,60	Mouratib <i>et al.</i> (2020)
Erva-mate	20	900	48,42	Respectivo trabalho

Fonte: Os autores, 2024.

Estudos como de Bulta e Micheal (2019) e Dung *et al.* (2021) demonstraram resultados maiores de porosidade quando comparado ao respectivo trabalho, possivelmente, devido ao fato de utilizarem um teor de agente porogênico mais elevado. Mouratib *et al.* (2020) atingiram uma maior porosidade que os demais trabalhos utilizando 5% de amido de milho e 85% de lodo de tratamento de água como agente porogênico, que pode ter afetado no resultado de porosidade encontrado, devido a presença de matéria orgânica.

A partir do aumento da porosidade, tem-se que a densidade aparente diminui de  $1,76 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$  em 0E10V na temperatura de 950 °C para  $1,19 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$  em 900 °C para 20E10V, como pode ser visto na Figura 9. Contudo, a aplicação de uma maior temperatura de queima para a mesma formulação não apresentou diferença.

Figura 9 - Densidade aparente das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas a 900 e 950 °C.



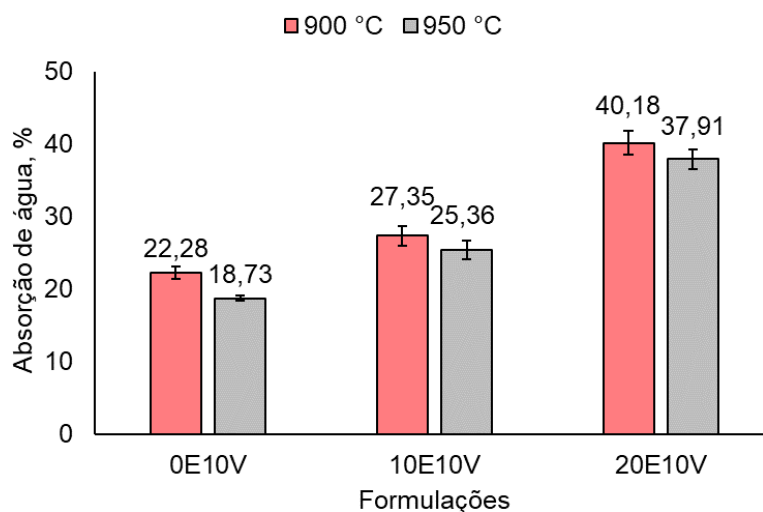
Fonte: Os autores, 2024.

Devido a formulação 20E10V apresentar um maior teor de erva-mate, que implicou em uma maior porosidade aparente do material, conseqüentemente, gerou uma menor densidade aparente para esta formulação, sendo de  $1,19 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$  para temperatura de queima 900 °C e  $1,22 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$  para 950 °C. Confirmando esta premissa, a formulação 0E10V que demonstrou menor porosidade aparente, tem maiores valores de densidade aparente, atingindo  $1,76 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$  em temperatura de queima de 950 °C e  $1,67 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$  para temperatura de 900 °C.

O fato de se ter uma maior porosidade no material também interfere na sua absorção de água, como pode ser observado na Figura 10.



Figura 10 - Absorção de água das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas a 900 e 950 °C.



Fonte: Os autores, 2024.

Nota-se que, assim como gerou-se uma maior porosidade quando sinterizado em uma menor temperatura (900 °C), chegando a  $36,64 \pm 1,07\%$ ,  $39,91 \pm 1,93$  e  $48,42 \pm 1,26\%$ , também obteve-se maiores valores de absorção de água, alcançando  $22,28 \pm 0,89\%$ ,  $27,35 \pm 1,37\%$  e  $40,18 \pm 1,69\%$  para as formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V, respectivamente. Além disso, conforme houve o aumento do teor de erva-mate adicionada, também ocorreu um acréscimo de absorção de água. Isto pode ser visualizado nas formulações 10E10V e 20E10V sinterizadas em 950 °C, que apresentaram valores de  $25,36 \pm 1,25\%$  e  $37,91 \pm 1,42\%$ , respectivamente, mostrando que houve um aumento desta propriedade em relação ao teor de resíduo.

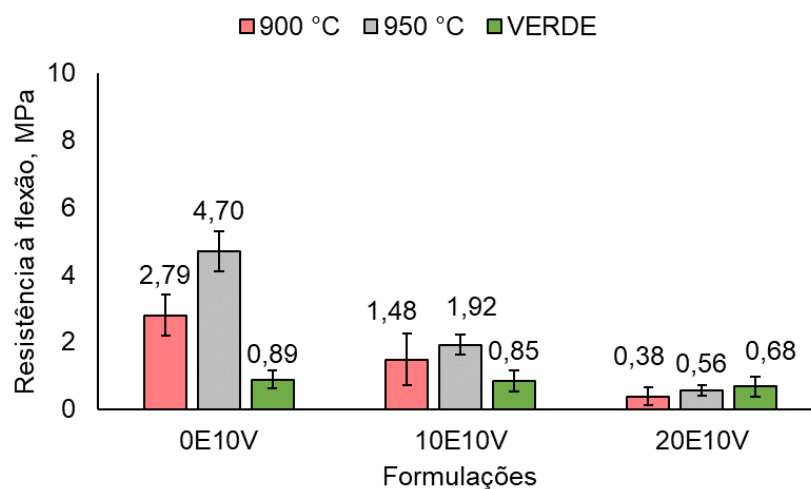
O mesmo foi verificado por Bohn *et al.* (2021) que estudou a inserção do resíduo vidro em pavimentos cerâmicos, mas também constatou a diminuição da absorção de água conforme houve o aumento da temperatura de queima. Essa redução ocorreu devido a sinterização do material, ou seja, iniciou-se a formação de fase vítrea, ocorrendo a redução da porosidade, e interferindo na absorção de água (BOHN *et al.*, 2021; SCHARNBERG *et al.*, 2019).

Este comportamento também foi encontrado no trabalho de Scharnberg *et al.* (2019) que avaliaram a adição de resíduos vidro e erva-mate em matriz cerâmica, ou seja, com o aumento do teor de erva-mate gerou-se um acréscimo da absorção de

água. Resultados semelhantes também foram encontrados por Mustapha *et al.* (2021) para a fabricação de filtros de vasos cerâmicos constituídos por caulim e serragem, sendo que, quanto maior a quantidade de serragem sobre o caulim, maior foi a absorção de água.

A partir do aumento da porosidade do material também se tem que sua resistência mecânica decresce, como pode ser observado nos resultados obtidos através do ensaio de resistência à flexão, demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Resistência à flexão aplicado às formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas em 900, 950 °C e amostras a verde.



Fonte: Os autores, 2024.

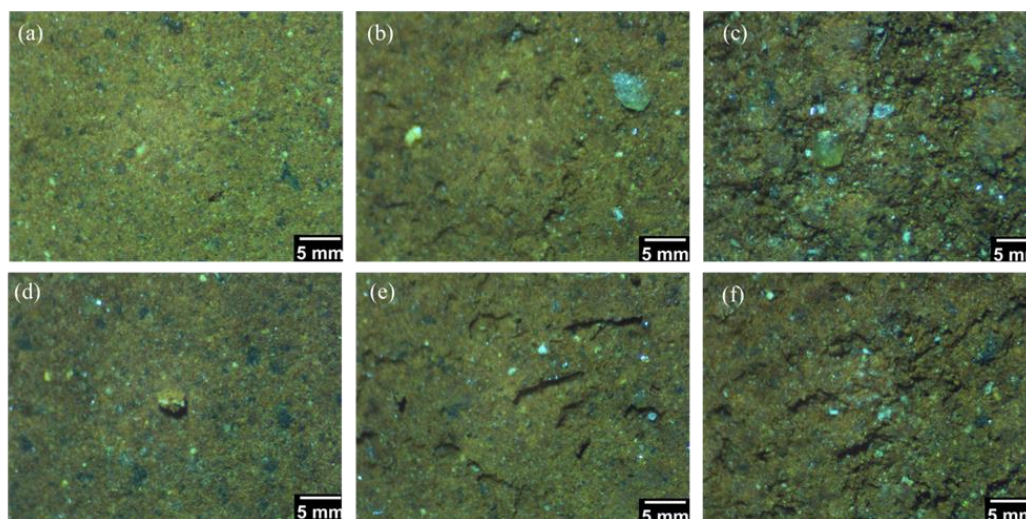
Observa-se que, a formulação 0E10V sinterizada em 950 °C alcançou maior resistência à flexão, chegando a  $4,70 \pm 0,61$  MPa, sendo que, como visto anteriormente na Figura 8, esta formulação apresentou menor porosidade aparente. As formulações 10E10V e 20E10V apresentaram valores semelhantes entre si, assim como a formulação 0E10V a verde (prévio a queima). Assim, destaca-se que, com um menor teor de erva-mate, conseqüentemente se tem um maior teor de argila, o que resulta em uma maior resistência mecânica. Da mesma forma, Malik *et al.* (2020) averiguou que, com uma presença maior de argila na fabricação de membranas, se alcançou uma maior resistência mecânica.

Mouratib *et al.* (2020) apresentou resultados semelhantes e definiu que com o aumento da resistência à flexão, tem-se uma menor porosidade aparente. Além disso, foram encontrados valores de resistência mecânica de 11,59 a 24,06 MPa quando se aumentou a temperatura de queima de 950 para 1150 °C, demonstrando o efeito da sinterização no material. Isto também pode ser visto no respectivo trabalho, em que os resultados da resistência mecânica para a formulação 0E10V alcançaram valores de  $4,70\pm 0,61$  MPa e  $2,79\pm 0,61$  MPa quando sinterizada em 950 e 900 °C, respectivamente, sendo que no corpo de prova a verde obteve  $0,89\pm 0,27$  MPa.

Ainda, Scharnberg *et al.* (2019) encontrou que o maior valor de resistência foi alcançado para a formulação contendo 20% de resíduo vidro e sinterizado a 1100 °C. Provavelmente, devido ao fato de utilizarem uma maior temperatura de queima do que no respectivo trabalho, tem-se uma maior sinterização, aumentando sua resistência mecânica. Mas, em ambos os trabalhos, teve-se a diminuição da resistência mecânica conforme houve o aumento do teor de erva-mate adicionado.

A estrutura superficial dos filtros cerâmicos foi verificada por microscopia óptica, obtendo-se as imagens mostradas na Figura 12. Visualmente havia menos poros na formulação 0E10V (Figura 12 (a, d)), à medida que o agente porogênico aumenta na formulação, ocorre maior presença de poros com formas alongadas e irregulares (Figura 12 (b, c, e, f)).

Figura 12 - Imagem microscópica das amostras queimadas a 900 °C: 0E10V (a); 10E10V (b); 20E10V (c); e a 950 °C: 0E10V(d); 10E10V (e) e 20E10V (f).



Fonte: Os autores, 2024.

Observou-se que houve uma menor porosidade superficial para a formulação 0E10V (Figura 12 (a, d)), porém apresentando em sua superfície um grão arredondado possivelmente da sílica presente na argila (BOHN *et al.*, 2021). Na formulação 10E10V nota-se uma presença maior de poros com formatos alongados e irregulares (Figura 12 (b, e)), provindos da adição de erva-mate, e que também foram encontrados na formulação 20E10V (Figura 12 (c, f)).

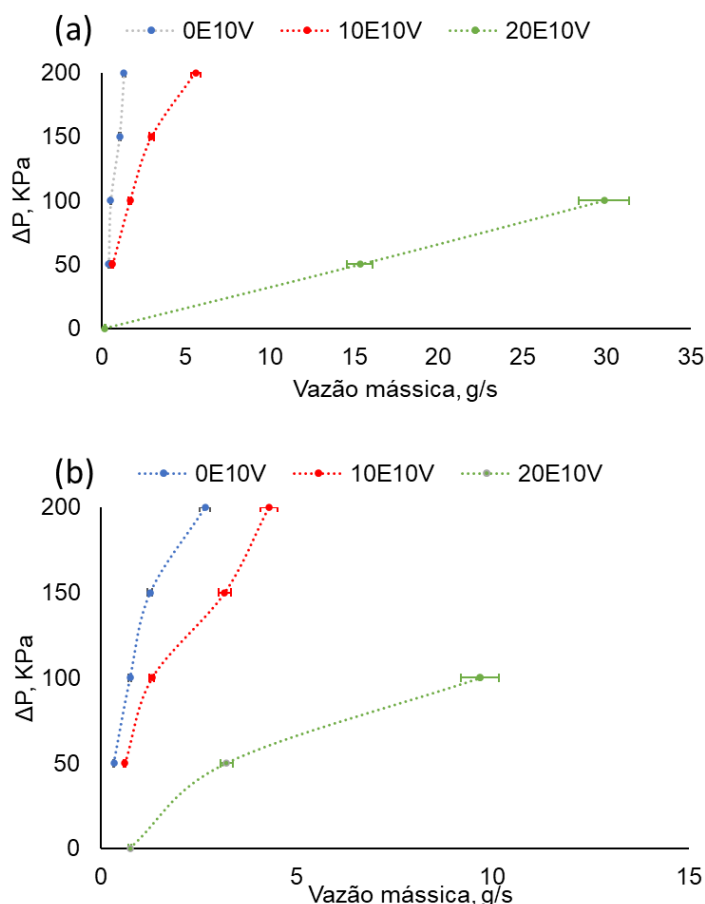
Através da Figura 12 (b, c) também se verificaram partículas com características transparentes, provavelmente do resíduo vidro que não reagiu totalmente com a argila nas temperaturas aplicadas no trabalho, sendo também visto nas demais formulações. Deste modo, com o aumento da erva-mate, houve o aumento dos poros superficiais, como já era esperado devido aos resultados de porosidade aparente, e que também refletiu na resistência mecânica do material.

Resultados similares foram encontrados por Scharnberg *et al.* (2019), sendo que, foram encontrados poros interconectados para a temperatura de 900 °C e poros fechados em 1100 °C devido a melhor sinterização do resíduo vidro presente, justificando uma melhor uniformidade na estrutura das amostras e resultando em melhores propriedades mecânicas.

#### **4.2. Vazão do fluido através dos filtros cerâmicos**

Como visto através dos ensaios realizados, as formulações contendo maiores teores de erva-mate, e sinterizadas em menores temperaturas, apresentaram uma maior porosidade aparente, o que interfere na vazão do fluido através dos filtros cerâmicos. Assim, inicialmente verificou-se as vazões mássicas de cada formulação, sendo apresentados os resultados na Figura 13.

Figura 13 - Vazão mássica das formulações sinterizadas a 900 °C (a) e 950 °C (b).  
\*Alguns resultados têm desvio padrão mínimo.



Fonte: Os autores, 2024.

Conforme a Figura 13 (a, b), verificou-se que as formulações 0E10V e 10E10V apresentaram pouca variação em relação a vazão mássica com o aumento da pressão relativa. Porém, a formulação 20E10V demonstrou uma vazão mássica maior do que as demais, o que pode ser justificado por algum dano na estrutura do filtro quando aplicado maiores pressões relativas.

Quando comparado as mesmas formulações em relação a temperatura de queima, tem-se que não foi apresentado diferença para a formulação 0E10V, mas destacou-se um pequeno aumento da vazão para a formulação 10E10V em 200 kPa. Verificou-se o mesmo para a formulação 20E10V, demonstrando uma maior vazão mássica na temperatura de queima de 900 °C (Figura 13 (a)). Como verificado anteriormente, as formulações sinterizadas em 900 °C apresentaram uma maior

porosidade aparente do que as sinterizadas em 950 °C, assim resultando em uma maior vazão quando aplicado o mesmo valor de pressão.

O fluxo de permeação de filtros cerâmicos com diferentes agentes porogênicos foi estudado para casca de coco e casca de ovo (Kamgang-Syapnjeu *et al.*, 2022), amido de milho (Mouratib *et al.*, 2020), grafite (Cui *et al.*, 2023) e farelo de arroz (Hasan *et al.*, 2011; Shafiquzzaman *et al.*, 2018). Os resultados são mostrados na Tabela 5 e comparados com o presente estudo, no qual foi possível observar que quando nenhuma ou baixa pressão é aplicada, o fluxo de permeação está entre 0,003 e 3,68 mL/cm<sup>2</sup>.min, uma vez que a quantidade de porosidade varia de 31,20 a 56,80%. Quando são aplicadas pressões na filtração, o presente trabalho demonstra que é possível um aumento considerável no fluxo de permeação, chegando a 142,60 mL/cm<sup>2</sup>.min.

Tabela 5 - Ensaio de vazão aplicado em filtros cerâmicos constituídos por diferentes agentes porogênicos.

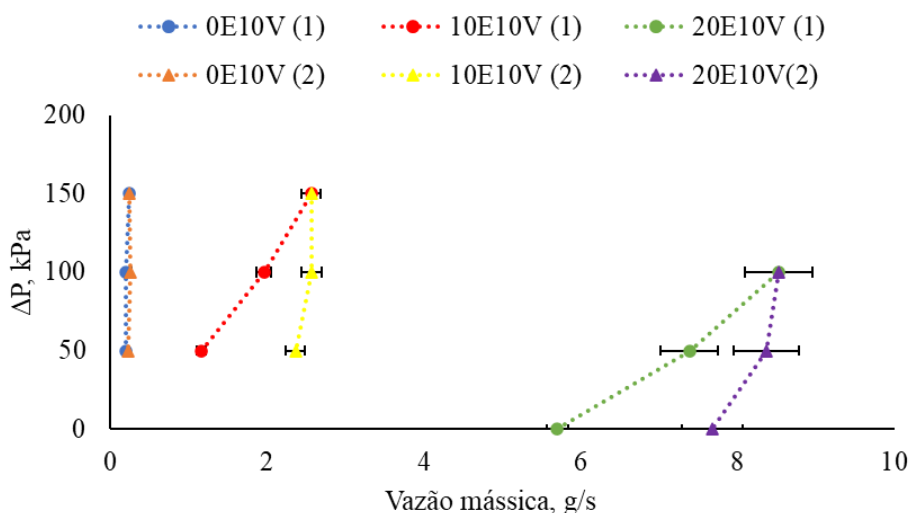
AGENTE POROGÊNICO	TEOR (%)	TEMPERATURA DE QUEIMA (°C)	POROSIDADE (%)	FLUXO (mL/cm <sup>2</sup> .min)	PRESSÃO APLICADA (kPa)	REFERÊNCIA
Casca de coco e casca de ovo	25	1000	31,20	3,5	20	Kamgang-Syapnjeu <i>et al.</i> (2022)
	0	950	32,91	12,74	200	
Erva-mate	10	950	37,75	26,70	200	Respectivo trabalho (2024)
	20	900	48,42	142,60	100	
	20	900	48,42	3,56	Nenhuma	
Amido de milho	5	1050	46,70	0,145	12	Mouratib <i>et al.</i> (2020)
Grafite	30	1350	56,80	3,68	Nenhuma	Cui <i>et al.</i> (2023)
Farelo de arroz	20	900	-	0,004	8	Hasan <i>et al.</i> (2011)
				0,003	13	
Farelo de arroz	20	900	-	0,03	0,6	Shafiquzzaman <i>et al.</i> (2018)
				0,07	1,5	
				0,14	3	
				0,21	4,5	

Fonte: Os autores, 2024.

Como verificado na Tabela 5, ocorreram diferenças no fluxo provenientes da aplicação de pressão, mas que também podem estar relacionadas a estrutura do poro, sendo que a porosidade aberta (poros interconectados) está associada ao transporte de fluidos (SILVA *et al.*, 2022). Isso explica que, quanto maior a porosidade aberta do material, maior será seu fluxo. Podemos verificar que houve diferença entre as porosidades do respectivo trabalho e de Cui *et al.* (2023) quando avaliados sem aplicação de pressão. Em Cui *et al.* (2023), a porosidade encontrada foi de 56,80%, obtendo-se um fluxo de 3,68 mL/cm<sup>2</sup> min, e no respectivo trabalho foi obtido um fluxo de 3,56 mL/cm<sup>2</sup> min e uma porosidade de 48,42%. Como o houve uma pequena diferença no fluxo, porém uma maior porosidade utilizando-se grafite como agente porogênico, é possível dizer que houve uma maior presença de poros fechados no filtro cerâmico contendo grafite que dificultaram a passagem de água.

Foi realizado um ensaio para verificar se ocorriam diferenças na vazão do filtro cerâmico quando se aplicava pressão ao fluido, podendo estar relacionado à fraturas em sua estrutura. Foi então aplicado um ciclo de pressão crescente e decrescente para as formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas à 900 °C, em busca de verificar as alterações da vazão. A Figura 14 mostra a histerese neste ensaio nas formulações 10E10V e 20E10V, as que contêm um agente porogênico. Ao contrário da formulação sem agente porogênico (0E10V), quando o ciclo de aumento e diminuição da pressão não revela histerese (Figura 14), devido a esta formulação apresentar uma menor porosidade do que as demais formulações e conseqüentemente uma maior densidade aparente.

Figura 14 – Ciclo de pressão versus vazão mássica aplicando-se aumento (1) e redução (2) das pressões de 50, 100 e 150 kPa. \*As formulações 0E10V e 10E10V têm um desvio padrão mínimo nos resultados do fluxo de massa.



Fonte: Os autores, 2024.

De acordo com a Figura 14, a formulação mais porosa (20E10V) tem um fluxo de massa de água significativo sem aplicar pressão. Com 150 kPa de pressão aplicada, o filtro cerâmico desta formulação rompeu-se. Confirmando, assim, que a pressão aplicada no filtro cerâmico pode danificar sua estrutura interna, facilitando o escoamento. Quanto maior a quantidade de porosidade, mais fina é a estrutura que unifica as partes internas do filtro, que podem ser danificadas sob pressão, facilitando o escoamento do fluido.

### 4.3. Lixiviação

Devido ao fato de a erva-mate gerar cinzas após o processo de queima (NEVES *et al.*, 2020; FRIZON *et al.*, 2018), contendo elementos que poderiam solubilizar e lixiviar durante a passagem de água pelo filtro, realizou-se o teste de lixiviação nas formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas a uma temperatura mais baixa (900 °C), menos sinterizadas e então mais suscetíveis à lixiviação. Os resultados das medidas relativas encontradas estão demonstrados na Tabela 6.



Tabela 6 - Medidas relativas encontradas para os elementos sódio e potássio em água filtrada através das formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas em 900 °C. (\*L.D: limite de detecção).

Formulações	Volume de cada matéria-prima (%)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)
0E10V – 50 mL	93,36 argila 6,64 resíduo vidro;	0,30 ± 0,015	0,02 ± 0,001
10E10V – 50 mL	27,90 erva-mate 66,80 argila 5,30 resíduo vidro;	0,12 ± 0,006	< L.D
20E10V – 50 mL	47,20 erva-mate 48,30 argila 4,50 resíduo vidro;	0,09 ± 0,005	< L.D
20E10V – 100 mL	-	0,02 ± 0,001	< L.D
20E10V – 150 mL	-	< L.D	< L.D

Fonte: Os autores, 2024.

Observou-se a presença de elementos sódio e potássio sendo lixiviados durante a passagem de água pelo filtro cerâmico. Segundo Almeida *et al.* (2023) a predominância da argila utilizada é de SiO<sub>2</sub> (48,6%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (17,9%) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (16,7%), apresentando poucos íons de sódio e potássio, mas que podem ser lixiviados. Já a erva-mate pode conter sódio e potássio (CROGE *et al.*, 2021; BASTOS *et al.*, 2007) podendo variar conforme seu cultivo e temperatura de infusão (GAWRON-GZELLA *et al.*, 2021; HECK e MEJIA, 2007), mas sendo facilmente extraídos através do processo de infusão (BASTOS *et al.*, 2007). Ou seja, pelo fato de ter-se utilizado nas formulações erva-mate após sua infusão, espera-se pouca presença destes elementos. Assim, como o resíduo vidro contém maiores concentrações de CaO, MgO, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O (ZIMMER e BRAGANÇA, 2019; PHONPHUAK *et al.*, 2016), considera-se que sua presença interferiu no aumento dos elementos de sódio e potássio.

Também, verificou-se que, as formulações contendo maiores teores de erva-mate apresentaram medidas relativas menores dos elementos sódio e potássio. Isto está associado ao teor do resíduo vidro, em volume, utilizada nas formulações, ou seja, a formulação 20E10V apresentou menor volume de resíduo vidro do que as demais, destacando-se uma menor lixiviação dos elementos estudados.

A lixiviação de elementos advindos da passagem de água através de filtros cerâmicos também foi verificada no trabalho de Matthies *et al.* (2015) que verificou a lixiviação do arsênio, manganês e prata em razão de utilizar como agente porogênico a casca de arroz, diferente do respectivo trabalho. Foram encontrados valores de 0,09 mg/L de arsênio, 0,2 mg/L de manganês e 0,01-0,03 mg/L de prata no filtrado. A concentração dos elementos manganês e prata ficaram abaixo dos valores limitados pela OMS, porém, o arsênio ficou acima do limite de 0,01 mg/L, sendo este resultante da casca de arroz e da argila utilizada. Assim, foi necessário passar 33,5 L de água através do filtro para alcançar uma lixiviação abaixo deste valor (MATTHIES *et al.*, 2015).

#### **4.4. Retenção de microplásticos**

A partir dos resultados de porosidade e de vazão do material cerâmico, que demonstraram maiores valores para a formulação 20E10V, os filtros cerâmicos também foram avaliados quanto a retenção de microplásticos presentes em água, através da passagem de uma suspensão pelos filtros cerâmicos. Com isso, comparou-se a turbidez inicial e final medida no ensaio realizado, conforme apontado pela eficiência de remoção apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Turbidez da suspensão após o ensaio para as formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V sinterizadas em 900 °C, aplicando-se a pressão de 100 kPa.

<b>Formulação</b>	<b>Turbidez inicial (NTU)</b>	<b>Turbidez Final (NTU)</b>	<b>Eficiência de remoção (%)</b>
0E10V	305 ± 15,25	0,71 ± 0,035	99,77 ± 0,199
10E10V	305 ± 15,25	3,03 ± 0,151	99,01 ± 0,182
20E10V	305 ± 15,25	8,38 ± 0,419	97,30 ± 0,146

Fonte: Os autores, 2024.

É possível verificar que houve o decréscimo da turbidez da suspensão após sua passagem pelos filtros cerâmicos, sendo que, quanto menos poroso, maior foi a retenção dos microplásticos, chegando a eficiência de remoção em  $99,77 \pm 0,199\%$  para a formulação 0E10V. Contudo, as formulações 10E10V e 20E10V apresentaram turbidez final maior do que a 0E10V. Por haver uma maior porosidade nestas formulações, algumas partículas podem atravessar pelo filtro cerâmico e assim, resultar em uma menor retenção de turbidez.

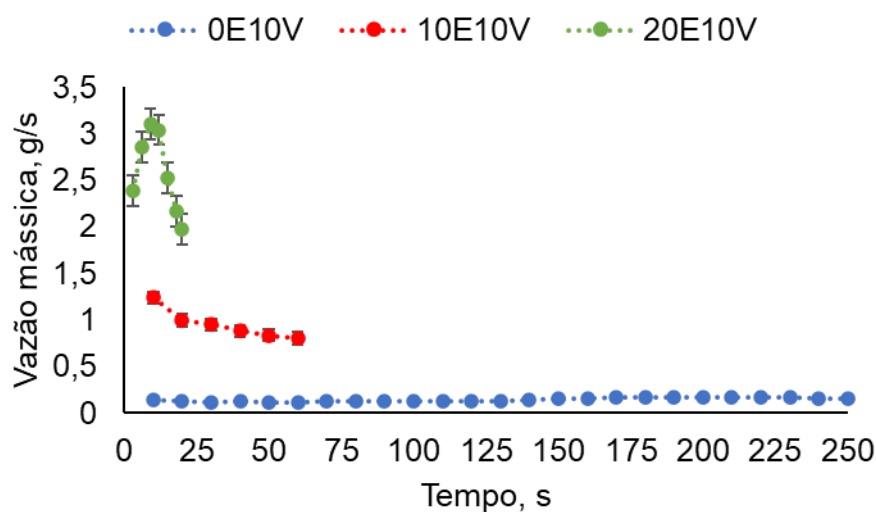
Esta relação da porosidade com a eficiência de remoção da turbidez também foi verificada em Bulta e Micheal (2019) que avaliaram a turbidez de amostras de água do rio em filtros cerâmicos produzidos com argila e serragem. Os resultados da eficiência de remoção da turbidez variam de 31,11 a 82,11%, sendo que o teor de argila e serragem foi variado, afetando na porosidade do material. Assim, teve-se que, aumentando o teor de serragem houve o aumento da porosidade e a redução na eficiência de remoção de turbidez, do mesmo modo que no respectivo trabalho.

O estudo da turbidez também foi averiguado por Bolaji e Akande (2013) em filtros cerâmicos constituídos por argila e serragem com aplicação de prata em sua superfície. Neste caso, as amostras filtradas foram de água bruta de poço, chuva, rio e poço artesiano, sendo encontrado como resultados para eficiência de turbidez 94,4; 89,4; 97,2 e 91,3%, respectivamente. Deste modo, possivelmente a porosidade do material também tenha interferido na remoção de turbidez.

#### 4.5. Vazão mássica de uma suspensão contendo microplásticos

A vazão mássica versus tempo durante o teste de filtração é apresentada na Figura 15. A formulação 0E10V, menos porosa, demorou consideravelmente mais tempo a filtrar a 100 kPa, 50 mL de suspensão de microplásticos, em comparação com as outras. Por outro lado, a maior porosidade da formulação 20E10V provoca, inicialmente, um aumento da vazão mássica, o que se deve às alterações ocorridas durante a filtração como algum colapso das regiões porosas mais frágeis, e em seguida, a redução da vazão devido a formação da torta, o que aumenta a resistência ao escoamento.

Figura 15 - Vazões mássicas obtidas para as formulações 0E10V, 10E10V e 20E10V, sinterizadas em 900 °C, após a passagem da suspensão contendo microplásticos, aplicando-se a pressão de 100 kPa. (\* Alguns resultados têm um desvio-padrão mínimo).



Fonte: Os autores, 2024.

Para a formulação 0E10V, a vazão mássica é praticamente constante, ao passo que para a 10E10V se verificou uma diminuição da vazão atribuível à formação de torta na superfície do filtro. Verificou-se também que a formulação 0E10V tinha uma vazão mássica mais baixa do que as outras, bem como um tempo de ensaio mais longo, ambos atribuídos à sua menor porosidade em comparação com as outras formulações (Figura 8).

Devido aos resultados encontrados, conclui-se que, a adição da erva-mate na composição dos filtros resultou em uma maior porosidade aparente (Figura 8), assim como a absorção de água (Figura 10), porém gerou uma diminuição na resistência mecânica (Figura 11). A temperatura utilizada também interferiu na porosidade do material, sendo que, em 900 °C a porosidade aparente foi maior do que em 950 °C em razão da sinterização do resíduo vidro. Com isso, tem-se que a formulação 0E10V apresenta a melhor condição para o objetivo de reter microplásticos em suspensão, porém demonstra baixa vazão sem aplicação de pressão.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um filtro cerâmico simples e de baixo custo, a partir da incorporação do resíduo vidro e erva-mate, visando a remoção de microplásticos presentes na água. Inicialmente, foram estudados a perda ao fogo e a retração linear, a fim de observar o comportamento do material durante a sinterização. Os resultados mostraram que a perda ao fogo foi maior para a formulação com maior teor de erva mate (20E10V), quando sinterizada a 950 °C, indicando que a presença da erva-mate influenciou essa propriedade, embora não tenha ocorrido variação deste parâmetro com a mudança na temperatura de queima. A retração linear variou conforme a temperatura de sinterização, aumentando de 900 °C para 950 °C, assim como a presença do resíduo vidro.

Foram também avaliadas a porosidade aparente, densidade aparente, absorção de água e resistência mecânica, observando a influência dos resíduos de erva-mate e vidro na estrutura do material. No ensaio de porosidade aparente, constatou-se que as formulações com maior teor de erva-mate apresentaram maior porosidade e menor densidade aparente. A porosidade impactou a absorção de água, sendo que quanto maior a porosidade, maior a absorção, mas isso também resultou em menor resistência mecânica.

O formato dos poros influencia a vazão, por isso as imagens obtidas por microscopia óptica e a vazão mássica foram analisadas. As imagens mostraram que as formulações contendo o agente porogênico apresentaram poros alongados e irregulares, o que não foi observado na formulação sem erva-mate. A formulação com 20% de erva-mate sinterizada a 900 °C teve a maior vazão mássica quando aplicada pressão de 100 kPa. No entanto, devido à sua baixa resistência mecânica, essa formulação fraturou ao ser submetida a pressões superiores a 100 kPa, o que alterou sua vazão, como observado no ciclo de pressão crescente e decrescente apresentando histerese.

Verificou-se também a lixiviação de íons sódio e potássio na filtração inicial do filtro cerâmico desenvolvido. A argila, o resíduo vidro e a erva-mate foram responsáveis pela lixiviação desses íons, devido à sua composição. Além disso, a

remoção de microplásticos foi avaliada pela turbidez da suspensão antes e após a filtração. Observou-se que quanto menos poroso era o material (formulação 0E10V), maior a retenção de microplásticos, atingindo  $99,77 \pm 0,199\%$ . Nesse caso, houve uma redução na vazão mássica da formulação, exigindo a aplicação de pressão durante o processo.

Com base nos resultados, conclui-se que é possível desenvolver um filtro cerâmico simples, composto por resíduos vidro e erva-mate, com maior porosidade devido à adição de erva-mate e maior resistência mecânica nas formulações sinterizadas a  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Além disso, o filtro foi eficaz na redução da turbidez em suspensões com microplásticos, destacando-se a formulação com menor porosidade.

Contudo, são necessárias investigações adicionais para otimizar os filtros cerâmicos sob pressão, considerando as propriedades como porosidade e resistência mecânica. Também são necessários mais estudos para aprimorar o processo de filtração, incluindo a formação de torta e sua respectiva influência na retenção de microplásticos.

### **5.1. Contribuição do trabalho**

O presente estudo contribui para o segmento de retenção de microplásticos presentes em água, através de sua passagem pelo filtro cerâmico desenvolvido à base de argila e resíduo vidro, avaliando a adição do agente porogênico para se atingir uma maior porosidade, e assim uma maior vazão. Porém, o resíduo vidro e a erva-mate já haviam sido estudados em formulações cerâmicas, não foram encontrados trabalhos que buscaram desenvolver um filtro cerâmico com estes resíduos, e ainda contribuísem com a retenção dos microplásticos.

Por meio dos resultados encontrados, foi possível averiguar a influência do resíduo de erva-mate presente nas formulações como na porosidade e absorção de água dos filtros cerâmicos, contribuindo com a vazão destes. A partir disso, tem-se que é possível reter microplásticos através de sua passagem pelos filtros cerâmicos desenvolvidos no trabalho, contribuindo para minimizar seus malefícios causados ao ecossistema.

## 5.2. Possibilidades de trabalhos futuros

A partir dos resultados encontrados no trabalho, objetiva-se para trabalhos futuros:

- Desenvolver formulações com maiores percentuais de resíduo vidro em busca de atingir uma maior resistência mecânica, e assim facilitar a aplicação de pressão nos filtros, sem que haja a quebra dos corpos de prova;
- Estudar diferentes percentuais de resíduo de erva-mate para que se consiga otimizar os resultados entre porosidade/vazão e retenção dos microplásticos;
- Realizar o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio para verificar a distribuição dos poros abertos existentes nos filtros cerâmicos;
- Estudar a influência da formação da torta no filtro cerâmico durante a retenção dos microplásticos;
- Descobrir uma melhor maneira de vedar os filtros cerâmicos no suporte utilizado para os ensaios de vazão mássica, lixiviação e retenção de microplásticos;
- Analisar as suspensões contendo microplásticos, antes e após a passagem pelos corpos de prova, através de outras técnicas como, por exemplo, a espectroscopia Raman que foi utilizada em diferentes trabalhos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST. **Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico: Perfil** 2018. Abiplast, 2019. 47 p. Disponível em: [https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web\\_VC.pdf](https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web_VC.pdf). Acesso em: 03 out. 2023.

AHMAD, Munir *et al.* **Scavenging microplastics and heavy metals from water using jujube waste-derived biochar in fixed-bed column trials.** Environmental Pollution, S/L, v. 335, out. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749123013210> . Acesso em: 11 mar. 2024.

ALMEIDA, Everaldo Mello de *et al.* **Use of sludge from the vehicle industry and its encapsulation of toxic metals in ceramic products.** Environmental Science And Pollution Research, [S.L.], v. 30, n. 54, p. 116325-116335, 1 nov. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-30669-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-30669-4>. Acesso em: 08 mar. 2024.

ANDRADY, Anthony L. **Microplastics in the marine environment.** Marine Pollution Bulletin, v. 62, n. 8, p. 1596-1605, ago. 2011. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez348.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0025326X11003055?via%3Dihub>. Acesso em: 13 dez. 2023.

ARIPIN, H. *et al.* **Formation of porous clay ceramic using sago waste ash as a prospective additive material with controllable milling.** Science Of Sintering, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 55-64, jan. 2014. National Library of Serbia. <http://dx.doi.org/10.2298/sos1401055a>.

BASTOS, Alexander Rangel; AFONSO, Júlio Carlos. **Solid-Liquid Separation: centrifuges and filter papers.** Química Nova, [S.L.], v. 38, n. 5, p. 749-756, jan. 2015. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150043>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/kYtGtdq8JdBmjrvZfZdTmqK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 fev. 2023.

BASTOS, Deborah Helena Markowicz *et al.* **Yerba maté: Pharmacological Properties, Research and Biotechnology. Medicinal And Aromatic Plant Science And Biotechnology,** v. 1, n. 1, p. 37-46, abr. 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/284040962\\_Yerba\\_mate\\_Pharmacological\\_Properties\\_Research\\_and\\_Biotechnology](https://www.researchgate.net/publication/284040962_Yerba_mate_Pharmacological_Properties_Research_and_Biotechnology). Acesso em: 01 set. 2023.

BAYARKHUU, Bolormaa; BYUN, Jeehye. **Optimization of coagulation and sedimentation conditions by turbidity measurement for nano- and microplastic removal. Chemosphere,** v. 306, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135572>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653522020653>. Acesso em: 14 ago. 2023.

BELTRÃO, Marília Sérgio da Silva. **AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DE CERÂMICAS CELULARES OBTIDAS A PARTIR DE POLÍMEROS ORGANOMETÁLICOS.** 2011. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciencia em Engenharia Metalurgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BEROV, Dimitar; KLAYN, Stefania. **Microplastics and floating litter pollution in Bulgarian Black Sea coastal waters. Marine Pollution Bulletin,** [S.L.], v. 156, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111225>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X2030343X?via%3Di> hub. Acesso em: 03 out. 2023.

BERTOLDI, Crislaine Fabiana. **Distribuição espaçotemporal, abundância e caracterização de microplásticos em águas superficiais do lago Guaíba**. 2022. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/235554/001137970.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 fev. 2023.

BOHN, Bárbara Panzenhagen *et al.* **A novel method to produce a ceramic paver recycling waste glass**. *Cleaner Engineering And Technology*, v. 2, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clet.2021.100043>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821000033>. Acesso em: 05 out. 2022.

BOLAJI, Bukola Olalekan; AKANDE, Olugbenga Oluseyi. **Development and Performance Evaluation of a Ceramic Filter for Point-of-Use Water Purification**. Researchgate, set. 2013.

BREANCINI, Guilherme. **Filtração da cerveja: Descrição, equipamentos e estudos de caso**. 2018. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28419/1/Filtra%C3%A7%C3%A3oCervejaDescri%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.

BRIOSCHI, Livia; PEDRA, Adriano Sant'Ana. **O dever das empresas e a poluição marinha plástica**. *Direito e Desenvolvimento*, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 113-127, 25 jul. 2023. Cruzeiro do Sul Educacional. <http://dx.doi.org/10.26843/direitoedesenvolvimento.v14i1.1543>. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/1543/814>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BRITO, G. F. *et al.* **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 127-139, set. 2011. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/222/204>. Acesso em: 08 maio 2024.

BRUGGEN, Bart van Der *et al.* **A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production**. Environmental Progress, v. 22, n. 1, p. 46-56, abr. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.670220116>. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez348.periodicos.capes.gov.br/doi/epdf/10.1002/ep.670220116>. Acesso em: 15 dez. 2023.

BULTA, Alemu Lelago; MICHEAL, Geremew Arega W. **Evaluation of the efficiency of ceramic filters for water treatment in Kambata Tabaro zone, southern Ethiopia**. Environmental Systems Research, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-15, 5 jan. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40068-018-0129-6>.

BURRIS, Kellie P *et al.* **Composition and Bioactive Properties of Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.): a review**. Chilean Journal Of Agricultural Research, [S.L.], v. 72, n. 2, p. 268-275, jun. 2012. SciELO Agencia Nacional de Investigacion y Desarrollo (ANID). <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392012000200016>. Disponível em: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-58392012000200016&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392012000200016&lng=en&nrm=iso&tlng=en). Acesso em: 13 abr. 2023.

BUSCH, F. **Efeito da incorporação de resíduo de processamento de lapidação de vidro sodo-cálcicos nas propriedades físicas e mecânicas de cerâmica vermelha**. 2016. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2016.

CAIXETA, Danila *et al.* **Nano e microplásticos nos ecossistemas: impactos ambientais e efeitos sobre os organismos.** Enciclopédia Biosfera, [S.L.], v. 15, n. 27, p. 19-34, 20 jun. 2018. Centro Científico Conhecer. [http://dx.doi.org/10.18677/encibio\\_2018a92](http://dx.doi.org/10.18677/encibio_2018a92). Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/biol/nano.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2023.

CALDAS, T. C. C. *et al.* **Incorporação de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 55., 2011, Pernambuco. p. 1008-1016. Disponível em: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/47/078/47078232.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/078/47078232.pdf). Acesso em: 11 abr. 2023.

CANIZA, Diego Adalberto Amarillo. **Procedência e autenticidade da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) através de marcadores geoquímicos determinados por pixe.** 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2017. Disponível em: <https://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/8999/0000011939.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 abr. 2023

CARMO, Edilania Silva do *et al.* **Preparação de membrana cerâmica a base de argila chocobofo e resíduos industriais.** Conjecturas, [S.L.], v. 22, n. 13, p. 765-779, 29 set. 2022. Uniao Atlantica de Pesquisadores. <http://dx.doi.org/10.53660/conj-1700-2h07>. Disponível em: <http://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1700/1249>. Acesso em: 21 mar. 2023.

CESCON, Anna; JIANG, Jia-Qian. **Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment.** Water, [S.L.], v. 12, n. 12, 1 dez. 2020. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/w12123377>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3377>. Acesso em: 27 fev. 2023.

CHUNG, Dong Hun *et al.* **Introducing efficient low cost smoked pots for water purification for developing countries.** Hydrology Current Research, South Korea, v. 4, jul. 2013.

CIAWI, Yenni; KHOIRUDDIN, Khoiruddin. Low-Cost Antibacterial Ceramic Water Filters for Decentralized Water Treatment: Advances and Practical Applications. **Acs Omega**, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 12457-12477, 5 mar. 2024. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.3c09311>. Acesso em: 02 nov. 2024.

CIRINO, Claudia *et al.* **A indústria de transformados plásticos.** São Paulo: Estudos Setoriais, 2017. 108 p. Disponível em: <https://quimicosp.org.br/wp-content/uploads/2017/10/livro-a-industria-de-transformados-plasticos.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2023.

COLE, Matthew *et al.* **Microplastics as contaminants in the marine environment: a review.** Marine Pollution Bulletin, [S.L.], v. 62, n. 12, p. 2588-2597, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11005133?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CROGE, Camila Pereira *et al.* **Yerba mate: cultivation systems, processing and chemical composition. a review.** Scientia Agricola, v. 78, n. 5, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0259>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/GMdNrH4ZnG6fP7xcwMM9qQD/?lang=en#>. Acesso em: 29 dez. 2023.

CRUZ, Ricardo T. da *et al.* **Faianças, grês e porcelanas: matérias-primas, moagem, conformação, secagem, queima, esmaltação, decoração, defeitos e propriedades gerais.** Porto Alegre: Cientifika, 2022. 491 p. Disponível em: <https://cientifikaorg.wordpress.com/porcelanas/>. Acesso em: 08 abr. 2023.

CUI, Zhentao *et al.* **Preparation of porous mullite ceramic supports from high alumina fly ash.** Journal Of Material Cycles And Waste Management, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 1120-1129, 26 jan. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-023-01598-8>.

CULTRONE, Giuseppe *et al.* **Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks.** Journal Of The European Ceramic Society, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 547-564, mar. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0955-2219\(03\)00249-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0955-2219(03)00249-8). Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez348.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0955221903002498?via%3Dihub>. Acesso em: 27 dez. 2023..

DE CARVALHO, D. G.; NETO, J. A. B. **Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil.** Ocean & Coastal Management 2016. v. 128., p. 10-17. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096456911630059X?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jan 2023.

DEMIR, Ismail *et al.* **Reuse of waste glass in building brick production.** Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 572-577, 7 maio 2009. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x08096528>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/24409582\\_Reuse\\_of\\_waste\\_glass\\_in\\_building\\_brick\\_production](https://www.researchgate.net/publication/24409582_Reuse_of_waste_glass_in_building_brick_production). Acesso em: 12 abr. 2023.

DEUS, Fábio Ponciano de. **Eficiência de remoção nos processos de filtração e retrolavagem em filtros de areia pressurizados**. 2014. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

DUARTE, Wander de Jesus Barboza *et al.* **Lixo Plástico: uma ameaça à vida marinha**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciência e Educação, São Paulo, v. 8, n. 8, p. 22-31, ago. 2022.

DUNG, Tran Thi Ngoc *et al.* **Utilization of rice husk, an abundant and inexpensive biomass in porous ceramic membrane preparation: a crucial role of firing temperature**. Hindawi, Vietnam, ago. 2021.

FALCO, Francesca de *et al.* **The Contribution of Washing Processes of Synthetic Clothes to Microplastic Pollution**. Scientific Report, S/L, v. 1, n. 9, p. 1-11, abr. 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-43023-x>. Acesso em: 03 fev. 2023.

FERREIRA, C. A. **Obtenção de membrana cerâmica porosa a partir da utilização de resíduo de caulim como matéria-prima alternativa e da serragem da madeira como agente porogênico**. 2019. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2019.

FLOOD, Michael *et al.* **Glass Fines: a review of cleaning and up-cycling possibilities**. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 267, p. 121875, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121875>.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. **Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos**. Química Nova, v. 29, n. 4, p. 811-816, jul. 2006. FapUNIFESP (SciELO).



<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422006000400031>. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/qn/a/QXT9wMDfVQ9PrhbVsp8b3Pc/#>. Acesso em: 12 dez. 2023.

FRIZON, Cátia *et al.* **Novel Beverages of Yerba-Mate and Soy: bioactive compounds and functional properties.** *Beverages*, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 21-32, 6 mar. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/beverages4010021>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5710/4/1/21>. Acesso em: 26 jul. 2023.

GALVES, Isabela Patrícia da Silva *et al.* **Estudo da adição de resíduo de vidro em cerâmica vermelha estrutural.** *Disciplinarium Scientia: Série: Naturais e Tecnologia*, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 201-209, 07 dez. 2021.

GAWRON-GZELLA, Anna *et al.* **Yerba Mate — A Long but Current History.** *Nutrients*, [S.L.], v. 13, n. 11, 21 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu13113706>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8622869/>. Acesso em: 01 set. 2023.

GIULIAN, Raquel. **Estudo da composição elementar da erva-mate (*Ilex paraguariensis*).** 2005. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8889/000590324.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 abr. 2023.

GODINHO *et al.* **Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados.** *Cerâmica* 51, [s. l.], p. 419-427, 2005.

GONÇALVES, Camila da Silva. **Simulação computacional e avaliação da influência da temperatura e composição nas propriedades físicas de vidro obtido a partir de cinza pesada de carvão mineral**. 2018. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/198517/PENQ0775-T.pdf?sequence=-1>. Acesso em: 29 set. 2022.

GUIMARÃES, Tereza Cristina de Farias *et al.* **Estudo das propriedades físicas e mecânicas com a composição química de argilas vermelhas do Estado da Bahia**. *Matéria* (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 26, n. 4, jun. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620210004.1310>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/xyrpd7WvYmdK98DWyxBCXVK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2023.

GURGEL, Jayne Francielle Santana *et al.* **Coprocessamento de rejeito do Garimpo Areinha (Diamantina/MG) para produção de cerâmica vermelha**. *Matéria* (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 25, n. 3, abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200003.1114>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/T74fznLkPn9KdztWRDBmGvF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 abr. 2023.

HAL, Noam van Der *et al.* **Exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic Israeli Mediterranean coastal waters**. *Marine Pollution Bulletin*, [S.L.], v. 116, n. 1-2, p. 151-155, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.052>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X16310566?via%3Dihub>. Acesso em: 03 out. 2023.

HALE, Robert C. *et al.* **A Global Perspective on Microplastics**. *Journal Of Geophysical Research: Oceans*, [S.L.], v. 125, n. 1, jan. 2020. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2018jc014719>. Disponível em:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2018JC014719>. Acesso em: 20 jan. 2023.

HASAN, Md. Mahmudul *et al.* **Application of a simple ceramic filter to membrane bioreactor**. *Desalination*, [S.L.], v. 276, n. 1-3, p. 272-277, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.062>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411002803>. Acesso em: 05 mar. 2023.

HECK, C.I.; MEJIA, E.G. de. **Yerba Mate Tea (*Ilex paraguariensis*): A Comprehensive Review on Chemistry, Health Implications, and Technological Considerations**. *Journal Of Food Science*, [S.L.], v. 72, n. 9, p. 138-151, nov. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00535.x>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1750-3841.2007.00535.x>. Acesso em: 01 set. 2023.

HENRIQUE, Flavia Aparecida. **Caracterização físico-química da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) e infusão, comercializada no sul do Brasil propondo critérios de confiabilidade do produto**. 2018. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal D, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3158/1/PG\\_PPGEH\\_Henrique%2C%20Flavia%20Aparecida\\_2018.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3158/1/PG_PPGEH_Henrique%2C%20Flavia%20Aparecida_2018.pdf). Acesso em: 14 abr. 2023.

HEYLEN, Camille *et al.* **Modeling of Hydraulic Performance in Disks and Full-Scale Ceramic Water Filters**. *Environmental Science & Technology*, [S.L.], v. 55, n. 11, p. 7702-7710, 13 maio 2021. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.1c01886>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c01886>. Acesso em: 16 jun. 2023.

HORTON, Alice A. *et al.* **Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities.** *Science Of The Total Environment*, v. 586, p. 127-141, maio 2017. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez348.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969717302073?via%3Dihub>. Acesso em: 13 dez. 2023.

HUSSAIN, Teba S.; AL-FATLAWI, Alaa H. **Remove Chemical Contaminants from Potable Water by Household Water Treatment System.** *Civil Engineering Journal*, [S.L.], v. 6, n. 8, p. 1534-1546, 1 ago. 2020. Ital Publication. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2020-03091565>. Disponível em: <https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/2282>. Acesso em: 24 mar. 2023.

INNOCENTINI, M. D. M. *et al.* Avaliação da permeabilidade de filtros de aerossóis para altas temperaturas, preparados a partir da técnica de adição de espuma aquosa em suspensão cerâmica. **Cerâmica**, [S.L.], v. 55, n. 336, p. 437-447, dez. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132009000400015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/n8hLcYZ7Nz4XS7pBQG6y3kh/?lang=pt#ModalTutors>. Acesso em: 02 nov. 2024

ISOLABELLA, Santiago *et al.* **Study of the bioactive compounds variation during yerba mate (*Ilex paraguariensis*) processing.** *Food Chemistry*, v. 122, n. 3, p. 695-699, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.039>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez348.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0308814610003134?via%3Dihub>. Acesso em: 23 dez. 2023.

JONES, Frances. **Brasil lança 3,44 milhões de toneladas de lixo plástico no mar por ano.** Revista Pesquisa, n. 321 nov. 2022. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/brasil-lanca-344-milhoes-de-toneladas-de-lixo-plastico-no-mar-por-ano/>. Acesso em: 16 fev. 2024.

KAMGANG-SYAPNJEU, Pelagie *et al.* **Bio-Based Ceramic Membranes for Bacteria Removal from Water.** Membranes, [S.L.], v. 12, n. 9, p. 901-912, 19 set. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/membranes12090901>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0375/12/9/901>. Acesso em: 01 mar. 2023.

KYE, Homin *et al.* **Microplastics in water systems: a review of their impacts on the environment and their potential hazards.** Heliyon, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 1-20, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14359>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023015669>. Acesso em: 14 ago. 2023.

KONTA, Jiri. **Clay and man: clay raw materials in the service of man.** Applied Clay Science, v. 10, n. 4, p. 275-335, nov. 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez348.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/0169131795000294?via%3Dihub>. Acesso em: 27 dez. 2023.

KOOK, Heejin; CHANHYUK, Park. **Engineered Approaches to Facile Identification of Tiny Microplastics in Polymeric and Ceramic Membrane Filtrations for Wastewater Treatment.** Membranes, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 565-581, 28 maio 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/membranes12060565>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0375/12/6/565>. Acesso em: 14 dez. 2023.

KOSUTH, Mary *et al.* **Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt.** Plos One, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1-11, 11 abr. 2018. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0194970>. Acesso em: 08 fev. 2023.

KUMARI, Neeraj; MOHAN, Chandra. **Basics of Clay Minerals and Their Characteristic Properties**. Clay And Clay Minerals, [S.L.], p. 1-29, 22 dez. 2021. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.97672>. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/76780>. Acesso em: 08 abr. 2023.

KURTELA, Antonia; ANTOLOVIĆ, Nenad. **The Problem of Plastic Waste and Microplastics in the Seas and Oceans: impact on marine organisms**. Croatian Journal Of Fisheries, v. 77, n. 1, p. 51-56, 1 mar. 2019. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/cjf-2019-0005>.

LANDMESSER, C. *et al.* **Engineering ceramic microstructures and machining**. Azo Materials, jun. 2011. Disponível em: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5697>. Acesso em: 15 mar. 2023.

LESAK, Giuliana Varela Garcia. **Influência da adição de óxidos de nióbio e titânio em membranas cerâmicas: avaliação de propriedades e aplicação na separação de emulsão óleo-em-água**. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/79154/R%20-%20D%20-%20GIULIANA%20VARELA%20GARCIA%20LESAK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 mar. 2023.

LIU, Fan *et al.* **Microplastics Removal from Treated Wastewater by a Biofilter**. Water, [S.L.], v. 12, n. 4, 11 abr. 2020. MDPI AG. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/4/1085>. Acesso em: 08 fev. 2023.

MALIK, Nisha *et al.* **Preparation of novel porous ceramic microfiltration membranes from fly ash, kaolin and dolomite mixtures.** *Ceramics International*, [S.L.], v. 46, n. 5, p. 6889-6898, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.11.184>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884219333760?via%3Dihub>. Acesso em: 23 mar. 2023.

MARACCINI, Gabriela. **Microplásticos encontrados nas artérias aumentam risco de infarto e AVC.** CNN Brasil. 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/microplasticos-encontrados-nas-artérias-aumentam-risco-de-infarto-e-avc/>. Acesso em: 09 mar. 2024.

MACEA CERÂMICA TÉCNICA AVANÇADA. **Filtros cerâmicos.** Disponível em: <https://www.macea.com.br/produtos/filtros-ceramicos>. Acesso em: 02 nov. 2024.

MARFELLA, Raffaele *et al.* **Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events.** *New England Journal Of Medicine*, [S.L.], v. 390, n. 10, p. 900-910, 7 mar. 2024. Massachusetts Medical Society. <http://dx.doi.org/10.1056/nejmoa2309822>.

MARTINS, Julia Brandão *et al.* **Bioacumulação por microplásticos e seu impacto na saúde pública.** *Anima Educação*, Morumbi, 15f., 2022. Disponível em: [https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/23747/1/Artigo\\_Cientifico%20TCC%202022%20%281%29.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/23747/1/Artigo_Cientifico%20TCC%202022%20%281%29.pdf). Acesso em: 06 fev. 2023.

MATTHIES, K. *et al.* **Morphology, composition and performance of a ceramic filter for household water treatment in Indonesia.** *Water Practice And Technology*, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 361-370, 1 jun. 2015. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wpt.2015.044>. Disponível em:

<https://iwaponline.com/wpt/article-abstract/10/2/361/20640/Morphology-composition-and-performance-of-a?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 20 out. 2023.

MILAK, Gabriela Bortolin. **Cerâmicas porosas obtidas a partir da substituição parcial de matérias primas por resíduos da indústria de papel e celulose e utilização de fibras poliméricas para aumento de permeabilidade**. 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul-Catarinense, Criciúma, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5969/1/Gabriela%20Bortolin%20Milak.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2023.

MONTAGNER, Cassiana *et al.* **Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos**. Química Nova, jun. 2021. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170791>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/VJ58TBJHVqDZsvWLckcFbTQ#>. Acesso em: 12 dez. 2023.

MORAIS, Elayne Cristina de. **Avaliação dos efeitos hipocolesterolêmico, antioxidante e anti-inflamatório da infusão de erva-mate (*Ilex Paraguariensis*) em indivíduos normolipidêmicos ou dislipidêmicos, usuários ou não de estatinas**. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Farmácia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92799/263300.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 abr. 2023.

MOURATIB, Rajaa *et al.* **Low-cost ceramic membrane made from alumina- and silica-rich water treatment sludge and its application to wastewater filtration**. Journal Of The European Ceramic Society, [S.L.], v. 40, n. 15, p. 5942-5950, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.07.050>. Disponível em:



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955221920306051?via%3Di>hub. Acesso em: 23 mar. 2023.

MUSTAPHA, Saheed *et al.* **Fabrication of porous ceramic pot filters for adsorptive removal of pollutants in tannery wastewater.** *Scientific African*, [S.L.], v. 11, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00705>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227621000090?via%3Di>hub. Acesso em: 07 abr. 2023.

NASCIMENTO, Paulo Henrique Lamonier. **Dimensionamento de filtros rápidos por gravidade de uma estação de tratamento de de água de ciclo completo.** 2019. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28450/3/DimensionamentoFiltrosR%C3%A1pidos.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2023.

NEVES, Roberta Motta *et al.* **A survey of thermal degradation behavior based on chemical composition of post-consumed coffee and yerba mate.** *Cellulose Chemistry And Technology*, n. 55, p. 355-363, set. 2020. Disponível em: [https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT3-4\(2021\)/p.355-363.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT3-4(2021)/p.355-363.pdf). Acesso em: 13 abr. 2023.

NIGAY, Pierre-Marie *et al.* **Removal Mechanisms of Contaminants in Ceramic Water Filters.** *Journal Of Environmental Engineering*, [S.L.], v. 144, n. 12, p. 1-10, dez. 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001471](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001471). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29EE.1943-7870.0001471>. Acesso em: 16 jun. 2023.

OLIVATTO, Glaucia P. *et al.* **Microplásticos: contaminantes de preocupação global no Antropoceno.** Revista Virtual de Química, S/L, v. 10, n. 6, p. 1-22, dez. 2018. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/MontagnerNoPrelo.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2023.

OLIVEIRA, José Lucas dos Santos; SOUSA, Cynthia Arielly Alves de. **Plástico no meio ambiente: características gerais e impactos socioambientais.** In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS CONAPESC, 2019, Campina Grande. Editora Realize, 2019. Disponível em: [https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO\\_EV126\\_MD1\\_SA7\\_ID126\\_28072019155257.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA7_ID126_28072019155257.pdf). Acesso em: 10 jan. 2023.

OLIVEIRA, Maria Cleide Ribeiro de *et al.* **Argamassa produzida com resíduo de vidro substituindo o agregado miúdo.** In: v VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012, Palmas-TO. CONNEPI. 2012. v. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1265/2118>. Acesso em: 07 out. 2022.

OLIVEIRA, Rafael Henrique de *et al.* **Caracterização mineralógica, físico-química e tecnológica da argila de Angélica (Brasil): adequação para aplicação em produtos de construção.** Cerâmica Industrial, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 1-11, 2022. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2022.005>. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/doi/10.4322/cerind.2022.005>. Acesso em: 10 abr. 2023.

OYANEDEL-CRAVER, Vinka A.; SMITH, James A. **Sustainable Colloidal-Silver-Impregnated Ceramic Filter for Point-of-Use Water Treatment.** Environmental Science & Technology, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 927-933, 19 dez. 2007. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es071268u>. Disponível em: <https://pubs-acsc.org.ez348.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1021/es071268u>. Acesso em: 27 dez. 2023.

PASOTTO, Marlei Barboza *et al.* **Tópicos em separações mecânicas**. São Carlos: Edufscar, 2011. 71 p. Disponível em: [http://livresaber.sead.ufscar.br:8080/jspui/bitstream/123456789/2774/1/TS\\_Marlei\\_SeparacoesMecanicas.pdf](http://livresaber.sead.ufscar.br:8080/jspui/bitstream/123456789/2774/1/TS_Marlei_SeparacoesMecanicas.pdf). Acesso em: 27 fev. 2023.

PEÇANHA JUNIOR, Luiz Antonio Fonseca. **Reformulação de massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes**. 2006. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/PDF-DE-LUIZ-ANTONIO.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

PEREIRA, Thais Buse. **Microplásticos e a convenção para o controle e gestão da água de lastro em navios (convenção BWM)**. 2018. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/191787/TCC%20Eng%20Naval%20Thais%20Buse.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03 fev. 2023.

PHONPHUAK, Nonthaphong *et al.* **Utilization of waste glass to enhance physical-mechanical properties of fired clay brick**. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 112, p. 3057-3062, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.084>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615015553?via%3Dihub>. Acesso em: 26 jul. 2023.

PIATTI, Tania Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Alagoas: Ufal, 2005. 51 p.

Disponível em: [https://usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/plasticos\\_caracteristicas\\_usos\\_producao\\_e\\_impactos\\_ambientais.pdf](https://usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf). Acesso em: 08 maio 2024.

PINHATTI, Victor Carrera. **Microplástico: um contaminante invisível**. 2022. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/16810/TCC%20-%20Micropl%C3%A1stico%20-%20um%20contaminante%20invis%C3%ADvel%20-%20Vers%C3%A3o%20Final,%2003-10-2022.pdf?sequence=1>. Acesso em: 25 dez. 2022.

PLASTICS EUROPE. **Plásticos – Situación en 2022**. Madrid: Plastics Europe, 2022. 84 p. Disponível em: <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/02/PLASTICOS-SITUACION-2022-esp.pdf>. Acesso em: 03 out. 2023.

POMPÊO, Marcelo *et al.* **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 2022. 224 p. Disponível em: [http://ecologia.ib.usp.br/portal/microplastico/livro\\_todo.pdf](http://ecologia.ib.usp.br/portal/microplastico/livro_todo.pdf). Acesso em: 06 jan. 2023.

RIBEIRO, L.C.N. **Obtenção de espumas vítreas a partir de vidro e erva-mate do tipo ILEX PARAGUARINENSIS e sua caracterização microestrutural e de propriedades tecnológicas para aplicação como isolante térmico**. 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/212159/001115868.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 abr. 2023.

RODRIGUES, Filipa *et al.* **Efficacy of bacterial cellulose hydrogel in microfiber removal from contaminated waters: A sustainable approach to wastewater treatment.** *Science Of The Total Environment*, S/L, v. 919, abr. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724009859?via%3Dihub>. Acesso em: 11 mar. 2024.

ROSSI, Gianina B.; LOZANO, Valeria A.. **Simultaneous determination of quality parameters in yerba mate (*Ilex paraguariensis*) samples by application of near-infrared (NIR) spectroscopy and partial least squares (PLS).** [S.L.], v. 126, p. 109290, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109290>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820302784?via%3Dihub>. Acesso em: 08 mar. 2024.

RZĄSA-DURAN, Elżbieta *et al.* **Yerba Mate as a Source of Elements and Bioactive Compounds with Antioxidant Activity.** *Antioxidants*, v. 11, n. 2, p. 371, 12 fev. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox11020371>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8868397/>. Acesso em: 29 dez. 2023.

SANTOS, Diogo Pereira dos. **Influência do resíduo de vidro nas propriedades de uma argamassa colante.** 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/Disserta%C3%A7%C3%B5es-de-Mestrado-2016-DIOGO-PEREIRA-DOS-SANTOS.pdf>. Acesso em: 29 set. 2022.

SANTOS, R. C. dos *et al.* **Interação entre características de argilas e parâmetros de processamento sobre propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos.** *Cerâmica*, [S.L.], v. 63, n. 367, p. 361-368, set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633672126>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ce/a/5WX5WdTtxXYYdZSsFCfRFqg/?lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2023.

SARKAR, Dhruva Jyoti *et al.* **Microplastics removal efficiency of drinking water treatment plant with pulse clarifier**. Journal Of Hazardous Materials, [S.L.], v. 413, n. 1, p. 125347-125358, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125347>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421003101?via%3Dihub>. Acesso em: 08 fev. 2023.

SCHARNBERG, A. R. A. *et al.* **Avaliação da adição de resíduos de vidro sodocálcico e erva-mate em matriz cerâmica**. Cerâmica, [S.L.], v. 65, n. 373, p. 63-69, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653732466>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/gt8pcJnZk9Qk7BNdSSKxpcw/?lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2022.

SECCHI, Morgana; PADILHA, Ana Claudia Machado. **Análise das fibras naturais vegetais na indústria têxtil sob a perspectiva do modelo ECD**. Desafio Online, Campo Grande, v. 8, n. 3, p. 440-459, dez. 2020.

SEYYEDI, Seyed Reza *et al.* **Marine plastics, circular economy, and artificial intelligence: a comprehensive review of challenges, solutions, and policies**. Journal Of Environmental Management, v. 345, nov. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118591>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723013798?via%3Dihub>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SHAFIQUZZAMAN, Md *et al.* **Application of a Low Cost Ceramic Filter for Recycling Sand Filter Backwash Water.** *Water*, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 150-165, 3 fev. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10020150>.

SILVA, David Leonardo Bouças da *et al.* **Poluição plástica no litoral brasileiro: percepções de gestores de meios de hospedagem sobre consumo de descartáveis.** *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, [S.L.], v. 16, 7 abr. 2022. ANPTUR - Associação Nacional de Pesquisa e Pós Graduação em Turismo. <http://dx.doi.org/10.7784/rbtur.v16.2481>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbtur/a/zb8TjVn95TQPVXypLLN4PNt/#>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SILVA, Ducilene do Carmo da *et al.* **Contaminantes ambientais: efeitos dos microplásticos em organismos aquáticos e terrestres.** *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 10, n. 7, p. 1-9, 2 jul. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16761>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16761>. Acesso em: 02 fev. 2023.

SILVA, Ingrid Guimarães Silveira e. **Utilização de meios filtrantes alternativos para filtragem à vácuo.** 2018. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, Araxá, 2018. Disponível em: <https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Ingrid-Guimar%C3%A3es-Guimar%C3%A3es-Silveira-e-Silva.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.

SILVA, Victória Fernanda Genaro *et al.* **Remoção de microplásticos no tratamento de água para consumo humano por flotação.** In: XXIX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UNICAMP, 2021. p. 1-5. Disponível em: <https://www.prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2021P19160A36589O3794.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2023.

SIMÕES, Lorena Jordon. **Estudo da aplicação de resíduo de vidro laminado na produção de concreto**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. Disponível em: [https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/3968/1/tese\\_7343\\_Lorena%20Jodoni%20Sim%C3%B5es.pdf](https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/3968/1/tese_7343_Lorena%20Jodoni%20Sim%C3%B5es.pdf). Acesso em: 29 set. 2022.

SOUSA, Renata Ferreira de. **Obtenção e caracterização de um compósito a base de rejeito do gesso e chamote de telha para produção de filtros cerâmicos**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/19292/1/RenataFerreiraDeSousa\\_DISERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/19292/1/RenataFerreiraDeSousa_DISERT.pdf). Acesso em: 28 mar. 2023.

SOUSA, Renata Ferreira de. **Fabricação e caracterização de um filtro a base de rejeitos cerâmicos, carvão ativado, e nanopartículas de ZnO para purificação de água**. 2018. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/27367/1/Fabrica%c3%a7%c3%a3ocaracteriza%c3%a7%c3%a3ofiltro\\_Sousa\\_2018.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/27367/1/Fabrica%c3%a7%c3%a3ocaracteriza%c3%a7%c3%a3ofiltro_Sousa_2018.pdf). Acesso em: 16 mar. 2023.

SOUZA, Renata Priscilla de Araújo. **Obtenção de filtro cerâmico a partir da diatomita e casca de arroz carbonizada visando tratamento de efluente têxtil**. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

TANG, Kuok Ho Daniel; HADIBARATA, Tony. **Microplastics removal through water treatment plants: its feasibility, efficiency, future prospects and enhancement by proper waste management**. Environmental Challenges, [S.L.],



v. 5, p. 100264-100280, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envc.2021.100264>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021002432#:~:text=Initial%20coagulation%20and%20sedimentation%20of,microplastics%20removal%20up%20to%2062%25>. Acesso em: 09 fev. 2023.

TEOTÔNIO, Marcelo Henrique Ramos. **Presença de microplásticos em água de torneira no plano piloto uma região administrativa de Brasília**. 2020. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

TREVIZANI, Tailisi Hoppe. **Bioacumulação e biomagnificação de metais pesados em teias tróficas de estuários do sul-sudeste do Brasil**. 2019. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21137/tde-01022019-141450/publico/Tese\\_Trevizani\\_Tailisi\\_Corrigida.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21137/tde-01022019-141450/publico/Tese_Trevizani_Tailisi_Corrigida.pdf). Acesso em: 06 fev. 2023.

TURMINA, A. *et al.* **Filtração de carbonato de cálcio presente em suspensão aquosa utilizando filtro prensa**. Bagé: Universidade Federal do Pampa, 2019. 8 p. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-do-pampa/operacoes-unitarias-i/artigo-filtracao-pdf-nota-10/9436134>. Acesso em: 27 fev. 2023.

VAKIFAHMETOGLU, Cekdar *et al.* **Closed porosity ceramics and glasses**. *Journal Of The American Ceramic Society*, [S.L.], v. 103, n. 5, p. 2941-2969, 2 jan. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jace.16934>. Disponível em: <https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jace.16934>. Acesso em: 19 out. 2023.

VELASCO, Angel Negrete *et al.* **Contamination and Removal Efficiency of Microplastics and Synthetic Fibres in a Conventional Drinking Water Treatment Plant.** *Frontiers In Water*, [S.L.], v. 4, 5 abr. 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/frwa.2022.835451>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2022.835451/full>. Acesso em: 08 fev. 2023.

VENIS, R.A.; BASU, O.D. **Mechanisms and efficacy of disinfection in ceramic water filters: a critical review.** *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Canada, v. 51, p. 2934-2974, ago. 2021.

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. **Avaliação de argilas cauliníticas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha.** *Cerâmica*, [S.L.], v. 57, n. 343, p. 319-323, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132011000300010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/y39KfQnS4bcwMPzrwcnPpHG/?lang=pt#>. Acesso em: 10 abr. 2023.

WALDSCHLÄGER, Kryss *et al.* **The way of microplastic through the environment – Application of the source-pathway-receptor model (review).** *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 713, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136584>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720300942?via%3Di> hub. Acesso em: 03 fev. 2023.

WALKER, Tony R.; FEQUET, Lexi. **Current trends of unsustainable plastic production and micro(nano)plastic pollution.** *Trac Trends In Analytical Chemistry*,, v. 160, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2023.116984>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993623000717#bib6>. Acesso em: 29 abr. 2024.

WORRALL, W. E. **Clays and ceramic raw materials**. 2. ed. Leeds: Elsevier Applied Science Publishers Ltd, 1986. 214 p. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=fATGpkGNGdcC&oi=fnd&pg=PP11&ots=pqijF-y4Ui&sig=samWgPLMUV5wiyOQPiz4OOCobYk&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=fATGpkGNGdcC&oi=fnd&pg=PP11&ots=pqijF-y4Ui&sig=samWgPLMUV5wiyOQPiz4OOCobYk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 27 mar. 2023

World Wide Fund for Nature (WWF). 2021. **Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização**. Disponível em: [https://promo.wwf.org.br/solucionar-a-poluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao?\\_ga=2.61890990.340487679.1578051946-1802114202.157772876](https://promo.wwf.org.br/solucionar-a-poluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao?_ga=2.61890990.340487679.1578051946-1802114202.157772876). Acesso em: 30 nov. 2023.

XAVIER, Lorena Alves. **Elaboração de membranas cerâmicas a partir do aproveitamento da casca de ovo como aditivo**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-Pr, 2018.

XU, Jingwen *et al.* **Hardwood vessel-inspired chitosan-based sponge with superior compressibility, superfast adsorption and remarkable recyclability for microplastics removal in water**. Chemical Engineering Journal, v. 475, nov. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez348.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1385894723048611?via%3Dihub>. Acesso em: 11 mar. 2024.

XU, Pei *et al.* **Microplastic risk assessment in surface waters: a case study in the changjiang estuary, China**. Marine Pollution Bulletin, [S.L.], v. 133, n. 1, p. 647-654, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.020>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1830417X?via%3Dihub>. Acesso em: 03 out. 2023.

YANG, Haiyan *et al.* **Ceramic water filter for point-of-use water treatment in developing countries: principles, challenges and opportunities.** *Frontiers Of Environmental Science & Engineering*, [S.L.], v. 14, n. 5, p. 1-10, 16 maio 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11783-020-1254-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11783-020-1254-9>. Acesso em: 07 abr. 2023.

YAKUB, Ismaiel *et al.* **Porosity, Flow, and Filtration Characteristics of Frustum-Shaped Ceramic Water Filters.** *Journal Of Environmental Engineering*, [S.L.], v. 139, n. 7, p. 986-994, jul. 2013. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0000669](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000669). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29EE.1943-7870.0000669>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ZACCARON, Alexandre *et al.* **Efeito da adição de resíduo de vidro em massa de cerâmica de alvenaria.** *Matéria (Rio de Janeiro)*, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 1-11, maio 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190004.0821>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/GvfVtkPbbsqgW8C7ZjKVnJf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 out. 2022.

ZEREFFA, Enyew Amare; BEKALO, Tesfaye Betela. **Clay Ceramic Filter for Water Treatment.** *Materials Science And Applied Chemistry*, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 69-74, 1 jan. 2017. Riga Technical University. <http://dx.doi.org/10.1515/msac-2017-0011>.

ZIMMER, André; BRAGANÇA, Saulo Roca. **A review of waste glass as a raw material for whitewares.** Journal Of Environmental Management, [S.L.], v. 244, n. 1, p. 161-171, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.038>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971930636X>. Acesso em: 28 mar. 2023.

ZHANG, K., *et al.* **Occurrence and characteristics of microplastic pollution in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir, China.** Environmental Science & Technology, vol. 51, 3794–3801, 2017. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b00369>. Acesso em: 10 jan. 2023.