



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

ANTONIO JOSÉ FILO CREAÇÃO GARCIA

**ADSORÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS EM BARREIRA DE  
CONTENÇÃO DE UM NAVIO-TANQUE**

BELÉM  
2019



ANTONIO JOSÉ FILO CREÃO GARCIA

## **ADSORÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS EM BARREIRA DE CONTENÇÃO DE UM NAVIO TANQUE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia – ITEC, da Universidade Federal do Pará - UFPA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial.  
Área de concentração: Projetos Industriais  
Linha de Pesquisa: Materiais e Processos de Fabricação.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias.

BELÉM  
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo modulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo autor**

---

G216a Garcia, Antonio José Filo Creão  
Adsorção de resíduos oleosos em barreira de contenção de um navio-tanque / Antonio José Filo Creão Garcia. — 2019.  
91 f.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Filtro. 2. Açai. 3. Celulose. 4. Corpos silicosos. 5. MEV. 6. EDS. 7. Microscopia óptica I. Título.

CDD 621.3815324

---

ANTONIO JOSÉ FILO CREAÇÃO GARCIA

## **ADSORÇÃO DE RESÍDUO OLEOSO NA BARREIRA DE CONTENÇÃO DE UM NAVIO TANQUE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia – ITEC, da Universidade Federal do Pará - UFPA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial. Área de concentração: Projetos Industriais  
Linha de Pesquisa: Materiais e Processos de Fabricação.

DATA DA AVALIAÇÃO: **05 / 09 / 2019.**

**CONCEITO:** \_\_\_\_\_

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
(Orientadora – PPGEM/ITEC/UFPA)

---

Prof. Dr. José Maria do Vale Quaresma  
(Membro interno – PPGEI/ITEC/UFPA)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cecília Amélia Carvalho Zavaglia  
(Membro externo – PPGEM/UNICAMP)

---

Prof. Dr. Aladim Gomes Lameira  
(Membro interno Suplente – PPGEI/ITEC/UFPA)

BELÉM  
2019

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores da UFPA e IFPA, que nas disciplinas ministradas dividiram suas experiências teóricas e práticas.

Ao programa PPGEI pela oportunidade oferecida. À Coordenação dedicada do Prof. Dr. José Maria do Vale Quaresma.

Especial agradecimento à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias, nossa orientadora, que mesmo numa longa convivência, sempre se manteve paciente, amiga, à disposição com seu rico conteúdo e exigente quando necessário.

Aos colegas de Laboratório Eco Compósitos pelo companheirismo e amizade na divisão de bons e momentos difíceis das tarefas.

A minha família pelo carinho e incentivo, especialmente aos meus filhos Breno, Pedro Neto e Roney.

“Não importa se deu certo ou não, o que importa é a certeza de um dever cumprido”.

(DUQUE DE CAXIAS)

## RESUMO

A dificuldade de limpeza de resíduo oleoso no interior de barreira de contenção em navios-tanques sempre trouxe problemas operacionais e financeiros para os comandantes de navios e operadores locais nos terminais. Neste trabalho foram confeccionados filtros para adsorção de resíduos oleosos, em escala de laboratório com o uso de óleo diesel e no interior de barreiras de contenção de navio-tanque com resíduo oleoso. Foi usada borra de açaí como adsorvente particulado com diâmetro médio de  $200\mu\text{m}$ , parte insolúvel do mesocarpo, fração excedente da extração de polpa dos frutos, constituída principalmente de celulose e lignina com quatro por cento de corpos silicosos de diâmetro médio de  $2\mu\text{m}$ . Para estruturação dos filtros foi utilizada a técnica de rotomoldagem com flocos reciclados de polietileno de alta densidade e borra incrustada na superfície apresentando poros de  $0,1\text{mm}$ . Com base na ASTM F 726-17, nos filtros ocorreram adsorção mássica e adsorção volumétrica de resíduo oleoso no interior da Barreira de Contenção. As superfícies fraturadas e o processo de adsorção nos filtros foram observados por MO, MEV e EDS. Após análises dos resultados foram evidenciadas a eficiência do processo de adsorção de óleo diesel e de resíduo oleoso.

**Palavras Chave:** Filtro. Açaí. Celulose. Corpos silicosos. MEV. EDS.

## ABSTRACT

The difficulty on cleaning oily waste, inside the containment barrier on ship tankers has always been generating operational and financial problems for ship Captains and local terminal operators. In this work filters were made for adsorption of oily residues, in laboratory scale using diesel oil and inside containment barriers of oily waste tanker. Açai sludge was used as particulate adsorbent with an average diameter of 200 $\mu$ m, insoluble part of the mesocarp, excess fraction of pulp extraction of fruits, consisting mainly of cellulose and lignin with four percent of silicon bodies with an average diameter of 200 $\mu$ m. For the structuring of the filters it was used the rotational molding technique with recycled flakes of high density polyethylene and sludge embedded in the surface with pores of 0,1 mm. Based on ASTM F 726-17, in the filters there was mass adsorption of oily residue inside the Containment Barrier. Fractured surfaces and the adsorption process on the filters were observed by MO, SEM and EDS. After analysis of the results, the efficiency of the adsorption process of diesel oil and oily residue was evidence.

**Keywords:** Filter. Açai. Cellulose. Silicon bodies. MO. SEM. EDS.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Floresta nativa de açazeiros .....	21
Figura 2 –	Frutos de açaí <i>in natura</i> .....	22
Figura 3 –	Excedentes da extração de polpa de frutos de açaí composto de borra, fibra e caroço .....	26
Figura 4	a) Borra de açaí e b) PEADr .....	28
Figura 5 -	a) Máquina de rotomoldagem; b) Filtros cilíndricos e c) Filtros circulares .....	28
Figura 6 -	Microscopia Óptica do filtro com ampliação original de 10X .....	29
Figura 7 -	a) Ensaio de adsorção em escala piloto; b) Quantificação de óleo adsorvido .....	30
Figura 8 -	Navio-tanque no terminal de inflamáveis .....	32
Figura 9 -	Navios-tanque ou petroleiros .....	33
Figura 10 -	Barreira de contenção .....	33
Figura 11 -	a) Terminal de inflamáveis em Vila do Conde; b) Barreira de contenção .....	34
Figura 12 -	Ensaio de adsorção <i>in loco</i> .....	34
Figura 13 -	Filtros em suspensão após adsorção .....	35
Figura 14 -	MEV de borra de açaí (a, b, c) .....	36
Figura 15 -	MEV de borra de açaí .....	37
Figura 16 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	38
Figura 17 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	39
Figura 18 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	40
Figura 19 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	41
Figura 20 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	42
Figura 21 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	43
Figura 22 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	44
Figura 23 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	45
Figura 24 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	46
Figura 25 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	47
Figura 26 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	49
Figura 27 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	50
Figura 28 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	51
Figura 29 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	52
Figura 30 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	53

Figura 31 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	54
Figura 32 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	55
Figura 33 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	56
Figura 34 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	57
Figura 35 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	58
Figura 36 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	59
Figura 37 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	60
Figura 38 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	61
Figura 39 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	62
Figura 40 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	63
Figura 41 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	64
Figura 42 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	65
Figura 43 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	66
Figura 44 -	EDS e espectro de amostra de filtro .....	67
Figura 45 -	Fluxograma do processo de rotomoldagem de filtros e ensaios de adsorção .....	77
Figura 46 -	Insucessos de rotomoldagem .....	78
Figura 47 -	MEV de amostras de filtro .....	79
Figura 48 -	MEV de amostras de filtro após adsorção .....	83
Figura 49 -	MEV de amostras de PEAD/borra rotomoldada .....	90
Figura 50 -	MEV de amostras de borra de açai .....	88
Figura 51 -	MEV de amostras de borra lavada .....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estatística mássica de filtros cilíndricos .....	31
Tabela 2	Estatística mássica de filtros circulares .....	35
Tabela 3	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	38
Tabela 4	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	39
Tabela 5	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	40
Tabela 6	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	41
Tabela 7	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	42
Tabela 8	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	43
Tabela 9	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	44
Tabela 10	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	45
Tabela 11	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	46
Tabela 12	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	47
Tabela 13	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	49
Tabela 14	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	50
Tabela 15	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	51
Tabela 16	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	52
Tabela 17	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	53
Tabela 18	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	54
Tabela 19	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	55
Tabela 20	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	56
Tabela 21	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	57
Tabela 22	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	58
Tabela 23	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	59
Tabela 24	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	60
Tabela 25	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	61
Tabela 26	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	62
Tabela 27	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	63
Tabela 28	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	64
Tabela 29	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	65
Tabela 30	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	66
Tabela 31	Resumo de resultados de amostra de filtro .....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico1 –	Análise de adsorção de ensaios realizados em 5 minutos de arraste em escala piloto .....	32
Gráfico 2 –	Análise de adsorção de ensaios realizados em 5 minutos de arraste em barreira de contenção .....	36
Gráfico 3 –	Comparação entre os elementos presentes na borra <i>in natura</i> e após adsorção .....	66
Gráfico 4 –	A) DRX de filtro PEAD/PAM; B) DRX de filtro após adsorção ...	87

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Navio-tanque</b> .....	<b>16</b>
3.1.1	Resíduos oleosos .....	17
3.1.2	Barreira de contenção .....	18
<b>3.2</b>	<b>Processo de rotomoldagem</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Adsorção de resíduos oleosos</b> .....	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Açaí</b> .....	<b>21</b>
3.4.1	Celulose .....	23
3.4.2	Sílica .....	24
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>25</b>
4.2.1	Confecção de filtros .....	25
4.2.2	Ensaio de adsorção .....	26
4.2.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) .....	27
4.2.4	Microscopia óptica .....	27
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Confecção dos filtros</b> .....	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Microscopia eletrônica de varredura / espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS) da borra de açaí e do meio filtrante</b> .....	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>Ensaio de adsorção</b> .....	<b>30</b>
5.3.1	Ensaio de adsorção em escala piloto .....	30
5.3.2	Ensaio de adsorção no interior de barreiras de contenção de um navio-tanque .....	32
<b>5.4</b>	<b>Microscopia eletrônica de varredura / Espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS) de borra de açaí e de filtros</b> .....	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>70</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>75</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A dificuldade de limpeza de resíduo oleoso no interior da barreira de contenção em navios-tanques sempre trouxe dificuldades operacionais e financeiras para os comandantes de navios e operadores locais nos terminais que eles operam. Evitar seria o grande passo, mas este navio, diferente dos demais está sujeito a ocorrência de pequenos resíduos oleosos sobre seu convés principal, em torno de seu casco e ao longo de seu costado, por mais cuidados que existam com colocação de bandejas de contenção, sob as principais juntas operativas no convés, pequenos bujões que tampam as saídas d'água, sejam de pequenos serviços do convés e águas pluviais; por onde chegam os mangotes e os braços de abastecimento ou desabastecimento. Exercícios de treinamento para a tripulação com transbordamento de tanques é efetuado. Nos recebimentos ou transferências de óleo são efetuados procedimentos padronizados. As bombas do navio só operam rigorosamente com cargas ou lastros, de forma independente. Tanto na praça de máquinas, como no convés, os esgotamentos dos porões com resíduos oleosos são enviados para um tanque específico chamado tanque de resíduo para reaproveitamento. No meio marítimo também existe o “*International Safety Management Code*” - ISM, que é um código internacional para gerenciamento da operação segura de navios e para prevenção da poluição.

Segundo Onwuegbuchunam *et al.* [1], a estrutura para controle da poluição em ambientes portuários é fraca, especialmente em instalações de recepção de resíduos controlados por terceiros, eles propõem o uso de um modelo integrativo de legislação e análise científica contínua controlando os contratantes, seguindo o exemplo do governo nigeriano que avalia a eficácia de medidas antipoluição no setor portuário.

No Brasil, o rigor do controle proibitivo para evitar resíduo oleoso se faz no uso do monitor de lastro que só libera a água para o exterior do casco, se estiver nos padrões internacionais e as tripulações certificadas de acordo com o tipo de navio, porte e natureza de operação, garantindo cada vez mais profissionais direcionados e especializados. A taxa de descarga de resíduo oleoso de um navio tanque não pode ser maior que 30 litros/milha náutica ou estar a 50 milhas náuticas de terra. Esse controle é no padrão “*Marine Pollution*” – MARPOL, criada em 1973 e que recebeu uma Ementa em 1978 (MARPOL 73/78) para responder a vários

acidentes com petroleiro e outros assuntos relacionados com o meio marinho entrando em vigor em 1983.

Green *et al.* [2] mencionaram o estudo efetuado nas bolas de alcatrão recolhidas do fundo do mar no Atlântico Norte e no Mar das Caraíbas de 1988 até 2016, destas 28% eram de origem antropogênica e das remanescentes não se pode afirmar que são totalmente naturais.

Investigações sistemáticas são realizadas sobre o uso de diferentes tipos de barreiras de contenção, Lu *et al.* [3] avaliaram a confiabilidade de barreira de ar na contenção de óleo por investigações numérica e experimental em escala laboratorial. O estudo foi realizado em tubo submerso com abertura instalado perto do fundo de um tanque de geração das bolhas de ar, formando a cortina de ar de prevenção do espalhamento de óleo, sendo consideradas diferentes descargas de ar e velocidade da água corrente e os resultados corroboraram com os precedentes da literatura.

De acordo com Songsaeng *et al.* [4] a performance para adsorção de derivado de petróleo depende da morfologia do adsorvente, do tipo e das propriedades do óleo. A porosidade vai influenciar na capacidade de adsorção, como também o tipo de viscosidade do derivado do petróleo na difusão.

Neste trabalho foram confeccionados filtros para adsorção de óleo diesel em escala de laboratório e de resíduo oleoso no interior de barreira de contenção de um navio-tanque. Para estruturação de filtros foram usados flocos reciclados de polietileno de alta densidade (PEADr) moldados de forma porosa com incrustação de borra de açaí como adsorvente, segundo metodologia desenvolvida por Pereira (2019) [5], conforme o Anexo A.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Adsorção de resíduos oleosos por filtros de PEADr/borra de açaí em barreira de contenção de um navio-tanque.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Confeção de filtros por processo de rotomoldagem;
- Ensaio de adsorção;
- Caracterização por Microscopia Óptica (MO), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV); Espectroscopia Energia Dispersiva (EDS).



### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Navio-tanque

Navio-tanque, popularmente conhecido como petroleiro é um tipo de embarcação de grande porte usado para transporte de hidrocarbonetos, petróleo bruto ou derivados. Há os que possuem casco único ou casco duplo para prevenção de acidentes. A duplicidade do casco depende das características da carga. Por serem os maiores navios existentes utilizam terminais específicos para operações, em vez de portos convencionais.

As normas de tráfego, de segurança, de meio ambiente, de operação e de certificações de tripulações são estabelecidas em Convenções Internacionais, das quais se destacam a “*Safety Organization Life at Sea*” - SOLAS, que trata da segurança da vida humana no mar; “*Standard Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*”- STCW, que trata das certificações das tripulações e MARPOL, da situação do trato com o meio ambiente. Todas as decisões tomadas nessas convenções são através de representantes dos países signatários, do qual o Brasil faz parte. Após as decisões são dados prazos para cumprimentos e então os países fazem as ratificações. O órgão internacional que trata desses assuntos é o “*International Maritime Organization*” – IMO, que faz parte da Organização das Nações Unidas - ONU.

A regulamentação exige o uso de barreira de contenção em volta da embarcação petroleira em operação de carregamento ou descarregamento com o objetivo de reter resíduo oleoso, sendo este retirado antes da próxima embarcação atracar.

Zakaria e colaboradores [6] usaram um software para avaliar o impacto de poluição de navios e concluíram que os navios-tanque são mais poluentes quando comparados aos navios de carga de passageiros e de transportadores de areia operando em Bangladesh por onze meses.

Bašić, Degiuli e Dejhalla [7] mostram que os navios tanques são embarcações seguras quando bem conservadas e operadas, cumprindo procedimentos corretos de construção, navegação, manobra e operação. A segurança irá aumentar, pois diante da considerável exposição a que está sujeito requer normalmente ou rotineiramente mais cuidados dos que os outros tipos de navios e mesmo com casco duplo, se mal concebidos, construídos, mantidos e operados de forma deficiente tem potencial de catástrofe semelhante ao dos seus

antecessores de casco único e que os acidentes de colisão e aterramento sempre estarão acontecendo.

Aterramento horizontal é um risco de poluição, Musa e El Damatty [8] estudaram o efeito dos tanques cônicos de aço sob a rotação da base da embarcação diante de uma situação comum de aterramento horizontal, levando em consideração que a rotação base afeta o comportamento sísmico do tanque cônico agindo na pressão hidrodinâmica com interação fluido-estrutura.

### 3.1.1 Resíduos oleosos

O navio tanque ou petroleiro é um tipo de navio que devido sua natureza de operação e carga está mais exposto a ocorrências de resíduos oleosos que venham contaminar as adjacências do local. Ele opera em terminais específicos e não em portos convencionais.

Svanberg *et al.* [9] citam um estudo que visa reduzir o impacto no meio ambiente desse resíduo oleoso através da utilização de biomassa para produzir metanol renovável usado na indústria naval, demonstrando ser uma opção tecnicamente viável para amenizar os impactos ambientais do transporte marítimo.

O grande desafio técnico foi observado na produção, distribuição ou uso em navios, dentro do potencial de cadeias de suprimentos e mesmo com a atual barreira econômica, não parece ser algo intransponível. A transição do combustível fóssil para o metanol renovável pode ser facilitado pelo uso de metanol de matéria prima fóssil como complemento e diante da infra-estrutura como transporte, armazenamento, já há algo que pode ser adaptado facilmente do existente.

A IMO que regulariza o transporte marítimo mundial, atenta à situação como citam Green *et al.* [2] e através de uma Convenção cria importante providência que é a MARPOL 73/78 e Ementa em 1978 para responder a vários acidentes com petroleiros e outros itens relacionados com a poluição do petróleo. Esta legislação entrou em vigor em 1983 com o Anexo I, especificando quando e onde os navios podem descarregar óleo no mar. Por exemplo, um navio não pode ter uma taxa de descarga maior que 30 litros por milha náutica (equivale a 1852 metros) ou estar a 50 milhas náuticas de terra quando descarregar óleo. Os ambientes marinhos escolhidos como de alto risco para a poluição por óleo são regidos com diretrizes

ainda mais rígidas e proíbe que navios com mais de 400 toneladas descarreguem misturas oleosas com concentrações maiores que 15 partes por milhão (ppm).

Bender *et al.* [10] fornecem evidentes respostas para auxiliar na decisão de derramamento de óleo, “*Oil Spill Response*” - OSR, devido o crescimento de atividades antropogênicas no Ártico e o risco de exposição dos bacalhaus polares à petróleo, produzindo subsídios para que através das análises os “*Net Environmental Benefit Analysis*” - NEBA forneçam dados necessários à decisão. No entanto, referente ao crescimento e sobrevivência da espécie de forma globalizada em longo prazo foi observada como limitada em condições de exposição dinâmica aguda. Diretamente e referente aos resíduos de óleo queimado, “*Burned Oil Residues*” - BOR, óleo disperso mecanicamente, “*Mechanically Dispersed Oil*” - MDO, ou óleo disperso quimicamente “*Chemically Dispersed Oil*” - CDO e também é uma robustez na vida adulta do bacalhau polar graças às respostas e variedades de ações OSR.

### 3.1.2 Barreira de contenção

São bóias colocadas em volta dos navios-tanques ou petroleiros, atracados nos terminais em operação de carga, descarga ou lastreando. Esta barreira não só retém o resíduo oleoso possibilitando tempo e meios para sua retirada como também auxilia na identificação do navio que agiu com imprudência; e seu uso está estabelecido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA [11] através de sua Resolução nº 398/2008

Lanzillota [12] em sua dissertação explica importantes detalhes do uso racional da barreira de contenção no trato com resíduo oleoso e combate à poluição. Ele relata como elas acumulam o óleo ou resíduo oleoso, impedindo seu espalhamento até sua retirada para o eficaz desempenho da operação. Esclareceu como é importante a instalação e a manutenção das barreiras com equipes treinadas e especializadas. São versáteis quanto ao formato, tamanhos e tipos de materiais, conforme a necessidade. No tocante as pessoas que fazem uso delas devem entender bem suas funções, conhecendo os diversos tipos de barreira e onde mais se aplicam o controle do tempo, durabilidade e as condições do mar, as várias situações de armazenamento, transporte e a capacidade de contenção. Não esquecendo também que o manejo com barreiras exige práticas marinheiras, como confecção de nós, manuseio de âncoras e bóias de arinque.

Lu *et al.* [3] apresentam estudos numéricos e experimentais sobre a eficácia de barreira aérea na contenção de óleo em água corrente. O tamanho da abertura, intervalo de separação, profundidade submersa do tubo de ar, número de tubos de ar, descargas de ar e fluxo superficial da superfície demonstraram um bom desempenho das barreiras aéreas.

García-Olivares *et al.* [13] mostraram uma barreira física que pode ser criada com material sedimentar para enterrar destroços oleosos de navios naufragados como uma espécie de isolamento ou confinamento para petroleiros afundados e outros naufrágios que contenham combustíveis e outros materiais perigosos.

### 3.2 Processo de rotomoldagem

Rotomoldagem é um processo relativamente simples de transformação de materiais plásticos que utiliza calor, baixas pressões e rotação biaxial para dar forma a peças ocas. As peças produzidas são livres de tensões residuais sem linhas de solda e com custo de molde e equipamento relativamente mais baixos quando comparados a outras técnicas de processamento usuais [14-15].

O processo consiste no preenchimento do molde do material na forma de pó ou líquido e sob rotação biaxial é aquecido até a temperatura de fusão do polímero. Durante o resfriamento, apenas a rotação é mantida e então a peça é desmoldada.

Os ciclos de aquecimento e resfriamento prolongados provocam a degradação de polímeros ou alto grau de cristalinidade durante o resfriamento afetando drasticamente a resistência mecânica do produto final [16-19].

Um dos polímeros que mais se adapta a este tipo de processamento é o polietileno representa quase 90% da matéria prima utilizada no processo de rotomoldagem [20-22]. Outros materiais poliméricos também são usados no processo de rotomoldagem com destaque para o policloreto de vinila (PVC), polipropileno (PP), poliamidas, policarbonato [23-26].

Neste trabalho foi usado o processo de rotomoldagem para confecção de filtros porosos, tecnologia desenvolvida no laboratório de Eco-compósitos na dissertação de [Pereira \[5\]](#).

### 3.3 Adsorção de resíduos oleosos

Adsorção é a fixação de moléculas de uma substância na superfície de outra substância. Absorção é a incorporação ao volume da outra. Na absorção, os poros do agente absorvente é que se encarregam de reter o agente oleoso. Desta forma quanto mais for hidrofóbico o material, melhor vai ser a adsorção ou absorção de óleo. Tal procedimento cria uma película de adsorção na superfície adsorvente.

Souza e seus colaboradores [27] simularam corpos aquáticos contaminados utilizando um sistema de adsorção em leito diferencial óleo diesel/água. O adsorvente usado no estudo foi bagaço de cana-de-açúcar na forma de pó com grandes concentrações de adsorção de óleo diesel, sem diminuir sua propriedade adsortiva.

O processo de adsorção pode ser feito por materiais naturais e é amplamente utilizado em aplicações industriais, bem como para procedimento de limpeza de rios ou mares que retiram os resíduos de alta combustão, quanto óleo de indústria petrolífera, resíduo de óleo ou por meio de procedimento de reabastecimento dos navios.

Lee *et al.* [28] desenvolveram fibras super – hidrofóbicas de algodão e sumaúma através de um método simples de revestimento por imersão usando nanopartículas de P-SiO<sub>2</sub> nas superfícies das fibras possuindo alta capacidade de adsorção de vários óleos e baixo teor de água.

De Tuesta *et al.* [29] usaram carvões ativados modificados quimicamente e termicamente para adsorção de um composto lipofílico poluente contido em uma mistura bifásica óleo-água que imita os efluentes da refinaria de petróleo. O uso de adsorventes com partículas menores melhora a dispersão entre as fases aumentando significativamente a adsorção desse composto.

Souza *et al* [30] avaliaram a adsorção de corante azul básico originário de conchas, usando carvões preparados a partir de caroço de açaí e cascas de castanhas do Brasil, ativados por ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). A ativação foi capaz de gerar materiais com características adequadas para o propósito de adsorção, eficazes para remoção de soluções aquosas.

Os procedimentos da confecção de filtro de adsorção para limpeza de rios e mares, e particularmente, para retenção de resíduos oleosos no interior de barreira de contenção onde opera um navio tanque são importantes e significativos para conservação dos recursos hídricos. Atualmente, pesquisadores têm voltado seus

estudos para utilização de fibras, derivadas da natureza, como matéria prima para amenizar impactos no meio ambiente a partir do descarte de resíduo oleoso.

### 3.4 Açaí

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma espécie vegetal que pertence à ordem dos Arecales, da família Arecaceae e do gênero *Euterpe*. O açaí exerce importante papel sócioeconômico-ambiental às regiões produtoras. O extrativismo oriundo de produção florestal não madeireira (fig. 1) representa aproximadamente 70% das palmeiras, enquanto 30% decorrem de açaizais manejados e cultivados. Sendo, o Estado do Pará o maior produtor de açaí do Brasil.

**Figura 1** – Floresta nativa de açaizeiros



**Fonte:** Acervo do autor do trabalho.

No fruto de açaizeiro (fig. 2) encontra-se a polpa de açaí da qual é extraído o vinho, polpa ou suco de açaí, como é conhecido na região amazônica. O suco de açaí é habitualmente o alimento básico para as populações de origem

ribeirinha da região amazônica. A partir do suco de açaí são produzidos sorvetes, licores, doces, néctares e geleias, sendo mais consumido desta forma pelo restante do mundo [31].

Figura 2 – Frutos de açaí *in natura*



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

É possível reutilizar resíduos agroindustriais, como a borra de açaí, na elaboração de biscoito para a indústria alimentícia [32]. Assim como nanocelulose pode ser obtida a partir do tegumento do açaí para biomimetização e crescimento de um nanocompósito de cerâmica bifásica para aplicação como biomaterial [33]. Enquanto a polpa contém 32 por cento de carboidratos [34], a biomassa residual do despulpamento do açaí contém 70% de carboidratos e pode ser usada para produção de biometano por digestão anaeróbica [35] E da biomassa obtém-se catalisadores para produção de combustível [36]

Mesquita [37] avaliou os resultados físicos-mecânicos de ecopainéis de fibras de açaí tratadas com potencialidade para produção de particulados de média densidade e, conseqüente uso comercial na indústria da construção civil, moveleira e uso alternativo de seu resíduo em desenvolvimento de produtos no país. O desenvolvimento de eco aglomerados é uma alternativa de uso das fibras de açaí em escala industrial para o desenvolvimento de produtos sustentáveis e economicamente viáveis [38].

Na pesquisa de Silva, Silva e Castro [39] obtiveram por meio dos testes de resistência à tração e módulo de resiliência um resultado satisfatório com relação ao comportamento físico-químico e mecânico da adição das fibras do mesocarpo de açaí em misturas asfálticas.

De acordo com Oliveira [40] o caroço de açaí "*in natura*" tem valores de carboidratos superiores a 60%, o que justificaria a sua utilização para produção de etanol. Segundo Moraes [41] a partir de 817 246 toneladas de biomassa de caroço de açaí poderia ser um total de 488 MW de energia gerada.

A borra do açaí (particulado do mesocarpo) é uma fração rica em ácidos graxos, antocianinas e corpos silicosos [42]. Uma aplicação descrita na literatura é no setor agrícola como fertilizante de solos, influenciando positivamente o desenvolvimento da planta [43].

#### 3.4.1 Celulose

A celulose constitui uma das principais massas celular estrutural das plantas e é uma importante matéria prima para as indústrias.

Yu *et al.* [44] em seus estudos trabalharam as membranas de acetato de celulose modificada e quitosana modificada com TiO<sub>2</sub> são favoráveis ao meio ambiente e biodegradável, com eficiência de separação água – óleo, atingindo 99%, sendo potencialmente aplicável a limpeza de derramamento de óleo e base de água residuais, com fácil montagem e excelentes propriedades, podendo ser considerada amiga do meio ambiente.

Wycoff *et al.* [45] trabalharam na análise química e nutricional do açaí roxo e branco, mostrando que eles contêm principalmente carbonos glicosídicos devido sua celulose e também gorduras saturadas e insaturadas, como 3,38 % - 4,70% de extratos metanólicos, sem cianidina, diferenciando mais a polpa da semente do fruto.

Kotelev *et al.* [46] no seu estudo de investigação da influência das condições de precipitação de celulose em suas propriedades de adsorção, observaram uma ligeira influência da temperatura, da área superficial específica da celulose, a partir do coeficiente da equação de regressão. Havendo mais influência da área da superfície no tempo de precipitação, do que a temperatura, obtendo-se uma temperatura de 25°C e um tempo de 15 minutos como ótimas condições de



precipitação da celulose para ganhar um material com cristalinidade reduzida e área específica máxima.

### 3.4.2 Sílica

A sílica é um silicato que se caracteriza por se um tetraedro, onde um átomo de silício é cercado por dois átomos de oxigênio. A sílica pode ser aplicada como nanopartículas incorporadas parcialmente a polímero de PU durante processo de modelagem e prensagem contribuindo para adesão e durabilidade de camada altamente hidrofóbica com o ângulo de contato de  $152 \pm 2$  [47], e também como copolímeros onde a copolimerização pode ser confirmada através de análises de FTIR e MEV [48]. Materiais híbridos de sílica-polímero podem ser potenciais candidatos para a remoção de corantes de água poluída atuando como adsorventes [49].

A sílica possui alta capacidade de adsorção [50] possibilitando suas aplicações em matrizes cromatográficas [51-52]. Nanopartículas de sílica mesoporosas, funcionalizadas com amino, possuem características de adsorvente para moléculas hidrofílicas e hidrofóbicas presentes no óleo de palma, podendo ser aplicadas para o tratamento de água [53].

Partículas de sílica são eficientes para a remoção de resíduo oleoso, como demonstrado por Parmar e seus colaboradores [54], que desenvolveram um aerogel reciclável de nanotubos de carbono, como agente de reforço, em matriz de carboximetil celulose e sílica, para a remediação ambiental por adsorção de óleos. A incorporação de nanopartículas de sílica hidrofóbicas em membranas inorgânicas aumenta o potencial para a separação de emulsões de óleo-água [55].

Saeong *et al.* [56] demonstraram uma resposta positiva para remoção de glicosídeos esterilizados no biodiesel, através do uso de sílica como adsorvente para a otimização da superfície.

Sun e colaboradores [57] avaliaram por modelagem computacional a o mecanismo de migração do óleo em uma nanoporo de sílica, usando simulações para avaliar o caminho do óleo no interior dos poros que é adsorvido no interior da sílica devido a interação, migrando sob força externa.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Materiais**

Para estruturação de filtros foram usados flocos de polietileno de alta densidade com 1 mm de espessura e diâmetro médio de 5 mm obtido por cominuição em moinhos de facas após coleta seletiva de embalagens doadas ao laboratório de Ecocompósitos da Universidade Federal do Pará. A identificação do PEAD foi feita observando-se a numeração presente em embalagens pós-consumo com a indicação do número 2 pré-estabelecida pela norma ABNT/NBR 13230.

Os moldes utilizados para confecção dos meios filtrantes foram latas de alumínio pós-consumo de forma cilíndrica e de formato circular. Os recipientes cilíndricos possuíam 234,7 cm<sup>2</sup> de área superficial interna e os recipientes circulares possuíam 673,1 cm<sup>2</sup> de área superficial interna.

### **4.2 Métodos**

#### **4.2.1 Confecção de filtros**

Para confecção de filtros foram coletados excedentes da extração de polpa de frutos de açaí (fig. 3) em estabelecimentos comerciais situados na região metropolitana de Belém-PA. Seguindo para equipamento que seca e separa partículas insolúveis do mesocarpo (borra) de monostelos (fibras) e de endocarpos (caroços desprovidos de fibras). Foi usada peneira de malha de 35 mesh.

Os filtros foram confeccionados através do processo de rotomoldagem utilizando moldes cilíndricos e circulares de alumínio. Os cilíndricos foram alimentados com 70% em massa de PEADr e 30% em massa de borra, colocados em camadas intercaladas de PEADr por camada intermediária de borra, em cada recipiente. Os moldes circulares também foram alimentados sequencialmente com 85% em massa de PEADr e 15% em massa de borra de açaí. Após alimentação os moldes foram vedados e fixados à máquina de rotomoldagem.

Nos ciclos de aquecimento, os parâmetros utilizados no processo de rotomoldagem foram: temperatura de 130°C; velocidade de rotação de 19rpm e translação de 9 rpm, tempo de 30 min. As peças moldadas permaneceram no forno em rotação durante 40 minutos para resfriamento ao ar livre

**Figura 3** – Excedentes da extração de polpa de frutos de açaí composto de borra, fibra e caroço



**Fonte:** Acervo do autor do trabalho.

#### 4.2.2 Ensaio de adsorção

Para os ensaios de adsorção foi adotada a norma ASTM F 726-17 [58]. O ensaio de adsorção foi realizado em escala laboratorial usando-se como recipiente um bote inflável com dimensões aproximadas de um metro de comprimento por 0,5 metros de largura e 0,20 metros de altura. Neste recipiente foi adicionada água e 10 ml de óleo diesel, com auxílio de proveta graduada.

O teste de arraste do conjunto de filtros sobre o óleo diesel na superfície da água foi realizado por cerca de 5 minutos. Após esse tempo os meios filtrantes foram deixados em repouso por aproximadamente 48 horas para retirada de umidade. Os filtros foram pesados individualmente antes e após o teste de adsorção do óleo diesel.

Os ensaios *in loco* foram realizados com filtros circulares no interior de uma barreira de contenção no Terminal de navios petroleiros do Porto da Vila do Conde, na Cidade de Barcarena, Estado do Pará, contendo um navio petroleiro em operação.

Os filtros foram colocados em pontos diferentes, distando aproximadamente 15 metros um do outro durante cerca de 5 minutos com movimento de arrasto para adsorção de resíduo oleoso. Após o ensaio os filtros ficaram em repouso por 72 horas para retirada da umidade.

#### 4.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

Análise microestrutural, características topográficas e fractográficas de filtros; e caracterizações morfológicas superficiais e elementares pontuais do adsorvente foram realizadas utilizando Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de bancada Hitachi TM 3000 acoplado swift do Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará.

As caracterizações morfológicas superficiais e elementares pontuais foram realizadas utilizando Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de bancada Hitachi TM 3000 acoplado swift do Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará. As amostras não foram cobertas com uma película de ouro para aumentar a resolução das microfotografias.

As configurações de quantificação foram para todos os elementos normalizados e não foi adotado material para revestimento. Estatística massa seca x massa bruta dos filtros circulares

#### 4.2.4 Microscopia óptica

Esta técnica foi utilizada para visualizar partículas coalescidas de PEADr e medir abertura de poros e superfície de adsorvente "borra" incrustada no material rotomoldado. O Microscópio Óptico empregado na análise foi o Binocular – ECLIPSE E 200, com lente de aumento 4x mais.

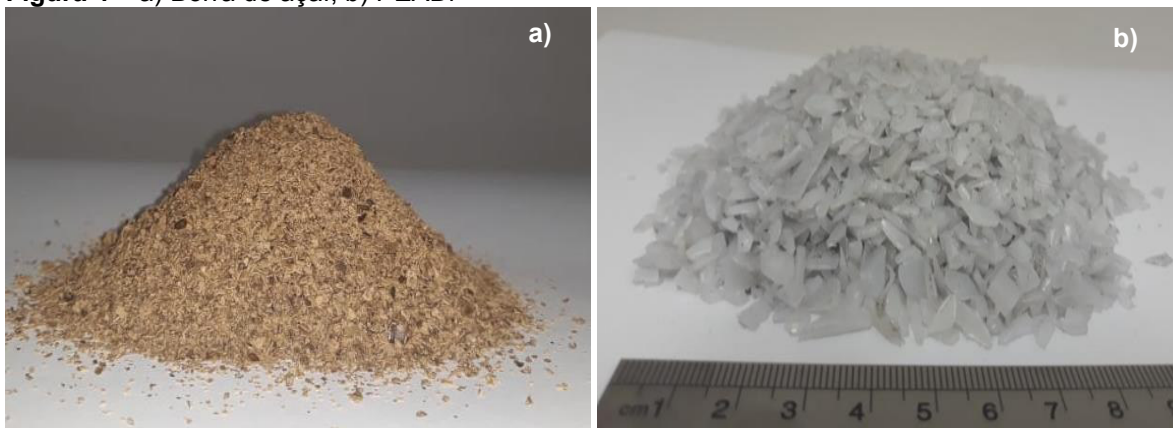
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Confeção de filtros

Após passar pelo equipamento secador/separador foram obtidos 13,5% de borra com granulometria variadas (fig. 4a). Destes apenas 33,33% foram passantes na peneira de 35 mesh e com o PEADr (fig. 4b) seguiram para o processo de rotomoldagem (apêndice A). Os outros excedentes que correspondem a 86,5% foram encaminhados para elaboração de outros trabalhos no Laboratório de Ecocompósitos.

A borra apresentou diâmetro médio de  $200\mu\text{m}$ , parte insolúvel do mesocarpo constituída principalmente de celulose (fig. 4a), com quatro por cento de corpos silicosos com diâmetro médio de  $2\mu\text{m}$  medidos por Pereira [5].

**Figura 4** – a) Borra de açai; b) PEADr



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Os filtros obtidos por processo de rotomoldagem (fig. 5a) apresentaram as seguintes dimensões: cilíndricos (fig. 5b) com  $234,7\text{ cm}^2$  e circulares (fig. 5c) com  $673,1\text{ cm}^2$  de áreas superficiais de contato.

**Figura 5** – a) Máquina de rotomoldagem; b) Filtros cilíndricos e c) Filtros circulares



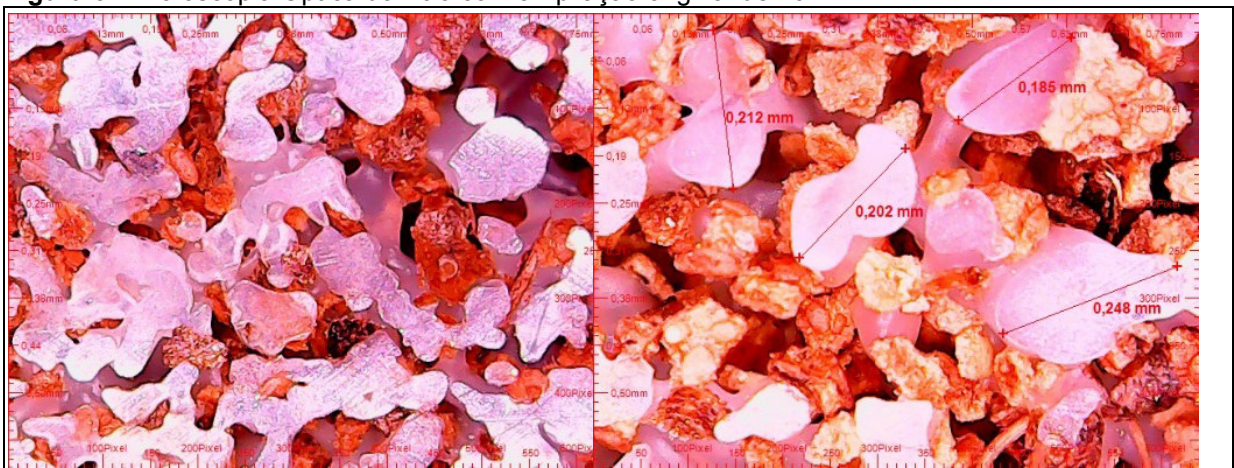
Fonte: Acervo do autor do trabalho.

O processo de rotomoldagem foi viável para obtenção de materiais porosos a partir de embalagens recicláveis de PEADr e borra de açaí. Diversos testes foram realizados para ajustar percentual dos constituintes em função da geometria do molde (**insucessos de rotomoldagem podem ser vistos no apêndice B**). Estudos de avaliação de propriedades reológicas e de PEAD virgem e PEAD reciclado atribuem ao PEADr fluidez compatível ao do PEAD virgem, que apresentam elevada massa molar, distribuição de tamanho das macromoléculas, grande número de conformações estruturais, bem como a possibilidade de emaranhamentos temporários das cadeias poliméricas refletindo diretamente no seu reprocessamento [59]. O tamanho e o formato da partícula influenciam na peça final obtida por processo de rotomoldagem, pois partículas muito pequenas com outras relativamente grandes traz como consequência a absorção de calor não homogênea podendo ocasionar um recobrimento desigual das paredes do molde e o formato da partícula afeta diretamente a sua fluidez e densidade aparente [60]

## 5.2 Microscopia óptica: análise superficial da borra de açaí e do filtro

O filtro foi estudado por Microscopia Óptica (fig. 6) tendo um aumento da objetiva acromática infinita de 10x, apresentando superfície porosa com poros de 0,1mm com coalescência parcial das partículas do PEADr, estas exibindo uma superfície de aproximadamente 0,218mm. A borra impediu o fechamento total da superfície do polímero, ficando incrustada e exposta tanto na parte interna quanto na parte externa.

**Figura 6-** Microscopia Óptica do filtro com ampliação original de 10X



Fonte: PEREIRA (2019) [5].

### 5.3 Ensaio de adsorção

Foram utilizados filtros cilíndricos e circulares para os ensaios de adsorção de resíduos oleosos conduzidos em escala piloto no Laboratório de Ecocompósitos e *in loco* no Porto de Vila de Conde no terminal de inflamáveis.

#### 5.3.1 Ensaio de adsorção em escala piloto

Os filtros foram amarrados com fios de náilon e intercalados por flutuadores de isopor formando uma geometria hexagonal (fig. 7a), com posterior retirada para quantificação de óleo adsorvido (fig. 7b).

**Figura 7** – a) Ensaio de adsorção em escala piloto; b) Quantificação de óleo adsorvido



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Os cálculos de adsorção de óleo como uma proporção de óleo adsorvido pelo peso do adsorvente seco foram realizados em conformidade com a Norma ASTM F726-17 [58] a partir da equação 1:

$$\text{adsorção de óleo}_m = S_s / S_o \quad (1)$$

Onde:  $S_o$  = peso inicial do adsorvente seco

$S_{st}$  = peso final das amostras de adsorvente nos testes de óleo

$S_s = (S_{st} - S_o)$  óleo líquido adsorvido

Assim como os cálculos de adsorção do óleo como uma razão volumétrica do óleo adsorvido pelo volume de adsorvente seco pela equação 2 [58]:

$$\text{adsorção de óleo}_v = S_{sv} / S_{ov} \quad (2)$$

Onde:  $S_{sv}$  = óleo líquido adsorvido ( $S_s$ ) / densidade do óleo

$S_{ov}$  = peso inicial do adsorvente seco ( $S_o$ ) / densidade do adsorvente

Sabendo-se que a densidade do óleo é 0,87g/cm<sup>3</sup> e a densidade do filtro de 0,97g/cm<sup>3</sup>, foram calculados os dados da tabela 1.

**Tabela 1** – Estatística mássica de filtros cilíndricos

<b>Filtros</b>	<b>Filtro (g)</b>	<b>Adsorvente (g)</b>	<b>Filtro após adsorção (g)</b>	<b>Adsorção de óleo (g/g)</b>	<b>Adsorção de óleo (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	100,34	30,102	100,49	0,004	0,0055
<b>2</b>	99,70	29,91	100,28	0,019	0,0216
<b>3</b>	96,15	28,845	97,67	0,052	0,0587
<b>4</b>	100,62	30,186	102,08	0,048	0,0539
<b>5</b>	96,02	28,806	97,39	0,047	0,0530
<b>6</b>	97,39	29,217	97,60	0,007	0,0080

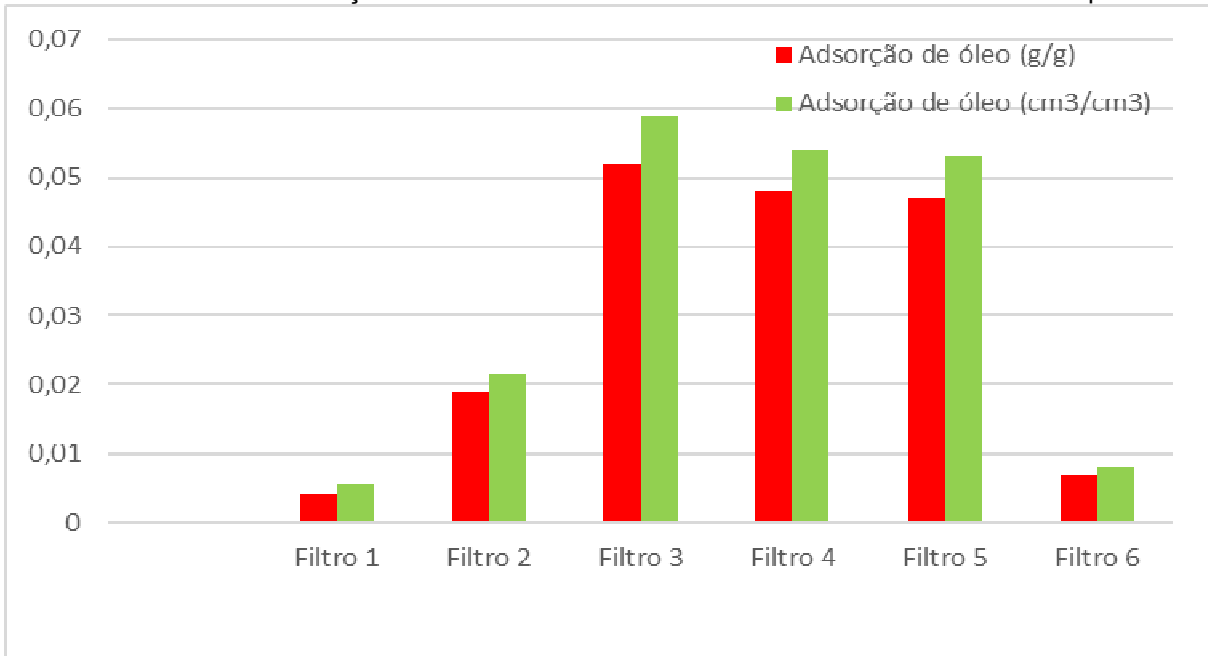
**Fonte:** Elaborada pelo autor do trabalho.

Segundo a ASTM F726-17 [58] para realização dos cálculos de adsorção de óleo os filtros apresentaram boa performance quanto ao processo de adsorção. O filtro 3 foi o que apresentou o maior valor de adsorção mássica foi de  $5,2 \times 10^{-2}$  e de adsorção volumétrica de  $5,87 \times 10^{-2}$ , confirmando a eficiência do particulado da borra de açaí como meio adsorvente, devido a presença de grupos Si-OH com grupos Si-CH<sub>3</sub> aumentando sua hidrofobicidade, capacidade adsortiva e seletiva do óleo a partir da água, sendo confirmado no gráfico 1 e estando de acordo com Zhang *et al.* [61]



que trabalharam com aerogéis de  $\text{Me-SiO}_2$  e Gao *et al.* [62] com adsorção de óleo em mantas de fibras com núcleos de  $-\text{Si-O-Si}-$ .

**Gráfico 1** – Análise de adsorção de ensaios realizados em 5 minutos de arraste em escala piloto



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

### 5.3.2 Ensaio de adsorção no interior de barreiras de contenção de um navio-tanque

O ensaio de adsorção de óleo residual foi realizado no interior de barreira de contenção de um navio-tanque no terminal de inflamáveis (fig. 8).

**Figura 8** – Navio-tanque no terminal de inflamáveis



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

O navio-tanque na operação de carga ou descarga ao chegar ao terminal de inflamáveis de um porto, após sua atracação deverá imediatamente colocar a barreira de contenção (fig. 9) para prevenir possíveis resíduos oleosos provenientes da carga, descarga, dos motores, lastro.

**Figura 9** – Navios-tanque ou petroleiros



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Esta barreira (fig. 10) não só retém o resíduo oleoso possibilitando tempo e meios para sua retirada como também auxilia na identificação do navio que agiu com imprudência e seu uso está estabelecido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA [11], através da Resolução nº 398/2008.

**Figura 10** – Barreira de contenção



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Os ensaios foram realizados dentro da barreira de contenção (figuras 11 e 12) em três pontos de análise com duração aproximada de 5 minutos de arraste, sendo utilizado 3 corpos de prova.

**Figura 11** – a) Terminal de inflamáveis em Vila do Conde; b) Barreira de contenção



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

**Figura 12** – Ensaio de adsorção *in loco*.



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Após os ensaios os filtros ficaram 72 horas em suspensão (fig.13) para retirada de umidade, obtendo-se os dados mostrados na tabela 2 e no gráfico 2.

**Figura 13** – Filtros em suspensão após adsorção

Fonte: Acervo do autor do trabalho.

**Tabela 2** – Estatística mássica de filtros circulares

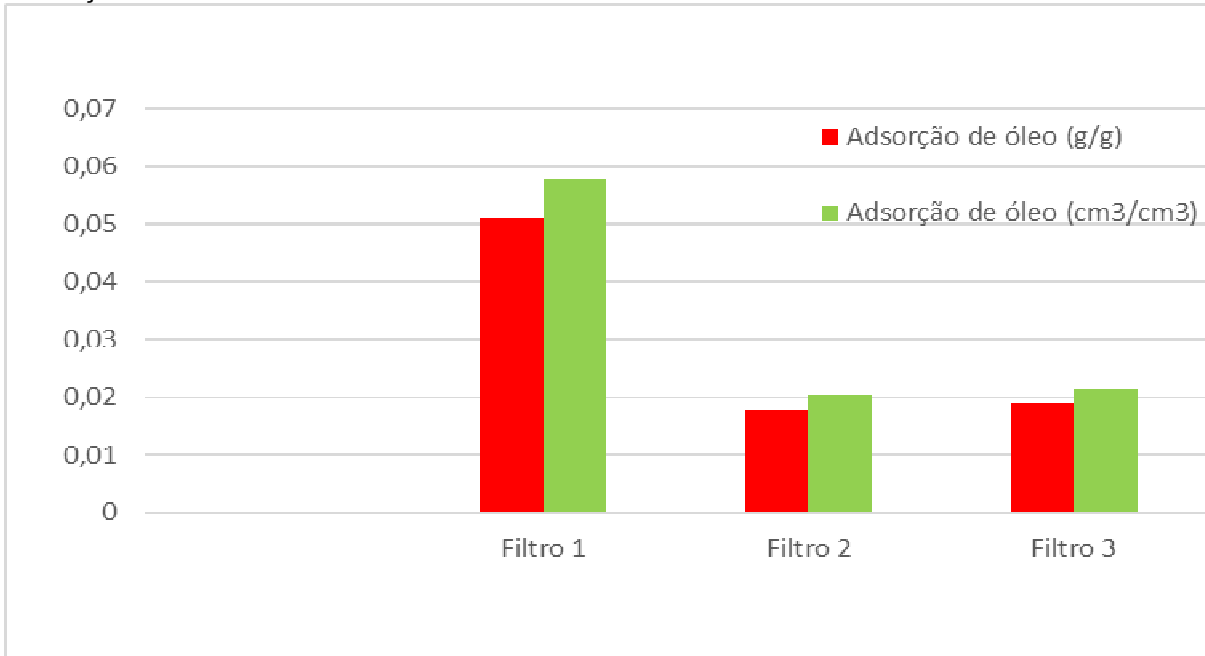
<b>Filtros</b>	<b>Filtro (g)</b>	<b>Adsorvente (g)</b>	<b>Filtro após adsorção (g)</b>	<b>Adsorção de óleo (g/g)</b>	<b>Adsorção de óleo (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	165,49	24,8235	166,78	0,051	0,0579
<b>2</b>	163,76	24,564	164,21	0,018	0,0204
<b>3</b>	162,75	24,4125	163,22	0,019	0,0214

Fonte: Elaborada pelo autor do trabalho.

Os dados mostram que a borra de açai pode ser usada como material para a contenção de derrames aquáticos, pois apresenta estruturas hidrofóbicas, onde o óleo livre ou emulsificado em água é prontamente absorvido, devido principalmente a dois mecanismos: primeiro, a adsorção do material oleoso na superfície do material, graças às interações intermoleculares entre as cadeias do óleo diesel e a celulose e lignina, além da ação capilar que ocorre devido à difusão do óleo, fenômeno este devido ao caráter lipofílico da borra de açai, ou seja, decorrente da alta porosidade associada ao elevado grau de hidrofobicidade do

material de acordo com Abdullah, Rahmah e Man [63] que caracterizaram físico-quimicamente sorção de óleos.

**Gráfico 2** – Análise de adsorção de ensaios realizados em 5 minutos de arraste em barreira de contenção

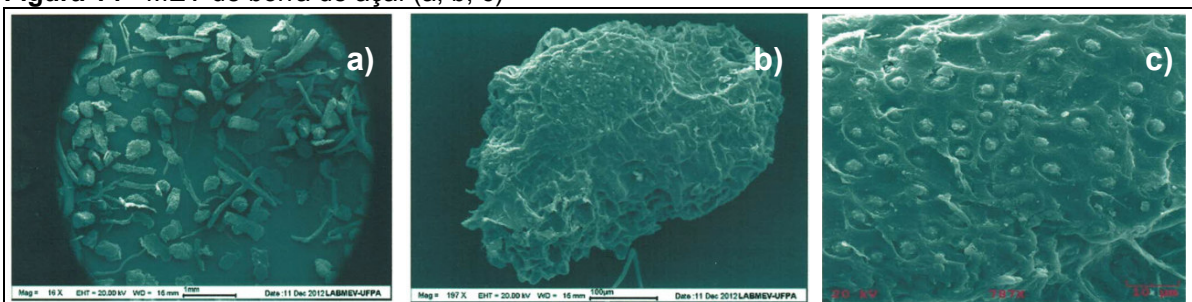


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 5.4 Microscopia eletrônica de varredura / Espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS) de borra de açaí e de filtros.

Na figura 14 foram observadas partículas com tamanhos variados (a), além de uma superfície rugosa (b) com corpos silicosos incrustados sobre a camada lignocelulósica (c).

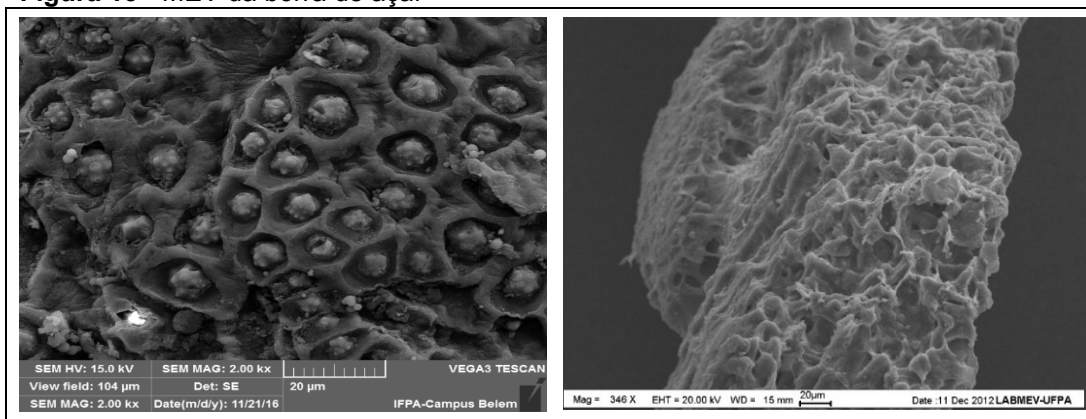
**Figura 14** - MEV de borra de açaí (a, b, c)



Fonte: PEREIRA (2019) [5].

Na figura 15 podemos observar aglomerados de corpos silicosos (**Fitólitos**) esféricos na superfície da borra de açaí, com imagem em zoom dessas protuberâncias. Esses tipos de protuberância também foram verificados na superfície de fibras da espécie *Elaeis Guineensis Jacq.* [64] e também vale à pena ressaltar que a forma dos corpos silicosos de uma mesma espécie são diferentes [65]. Estas estruturas silicosas ocorrem em tecidos parenquimáticos, localizados em stegmatas correspondendo a biossíntese e acúmulo deste tipo de incrustação mineral [66]. Os stegmatas presentes na borra de açaí dispõem-se em fileiras longitudinais, adjacentes e paralelas, possuindo forma discoidal com cavidade ou depressão central na qual se situam os corpos de sílica, de aspecto esférico-globoso e superfície espiculada.

**Figura 15** - MEV da borra de açaí



**Fonte:** PEREIRA (2019) [5].

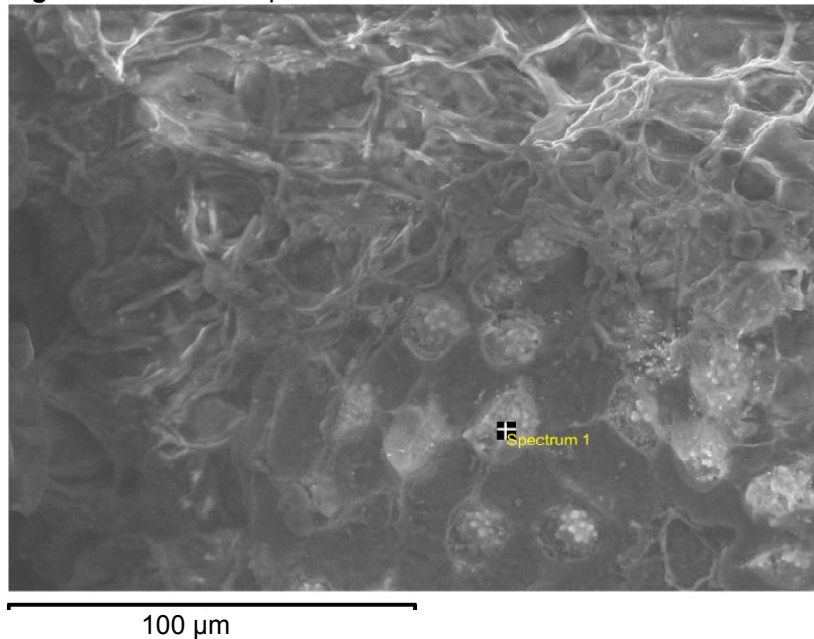
As microscopias eletrônicas de varredura (MEV) de filtros (apêndice C) e de filtros após adsorção (apêndice D), nas condições de ensaio não apresentaram diferenças visíveis, nem morfológicas por difração de raio-X (apêndice E), entretanto, as análises de EDS confirmam características de adsorção.

Nas análises de EDS de filtros, como mostram os espectros a seguir pode-se observar os elementos minerais silício, cálcio e manganês que estão na borra de açaí como macronutrientes. Em vacúolos chamados de stegmatas ocorre uma maior concentração de silício (corpos silicosos), eles são freqüentes em monocotiledôneas e são aleatoriamente distribuídos na superfície da borra.

Não foram observados outros nutrientes na borra, Santos [67] observou muitos outros nutrientes em tegumento de açaí. Sulaiman *et al* [68] e Souza *et al*

[69], observaram que o elemento mineral Potássio também se apresenta no fruto de bananeira, devido a sua alta mobilidade nas plantas. O íon Potássio está envolvido na ativação enzimática, síntese de proteínas, os morregulação, fotossíntese e expansão celular [70]. No açaí este elemento vai diminuindo à medida que o fruto vai amadurecendo [71].

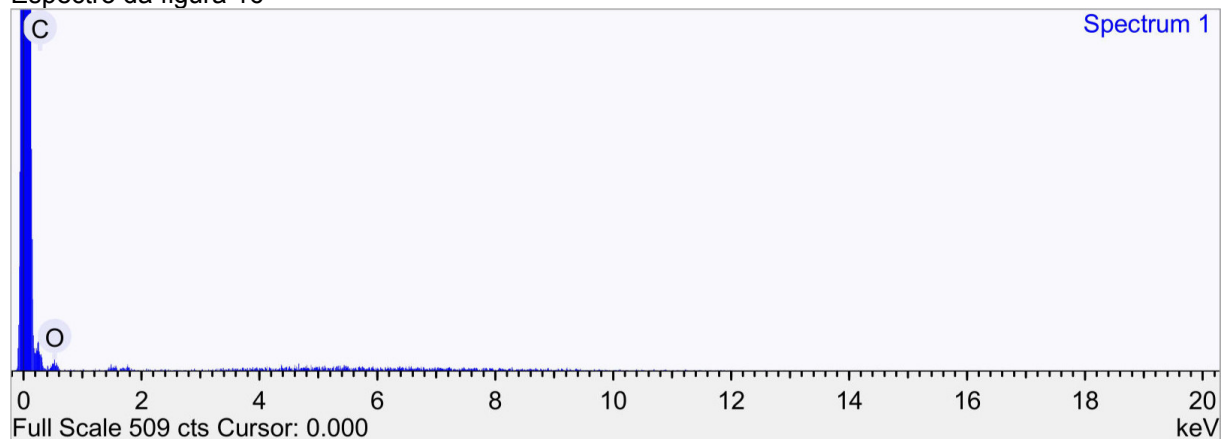
**Figura 16** – EDS e espectro de amostra de filtro



**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

Espectro da figura 16

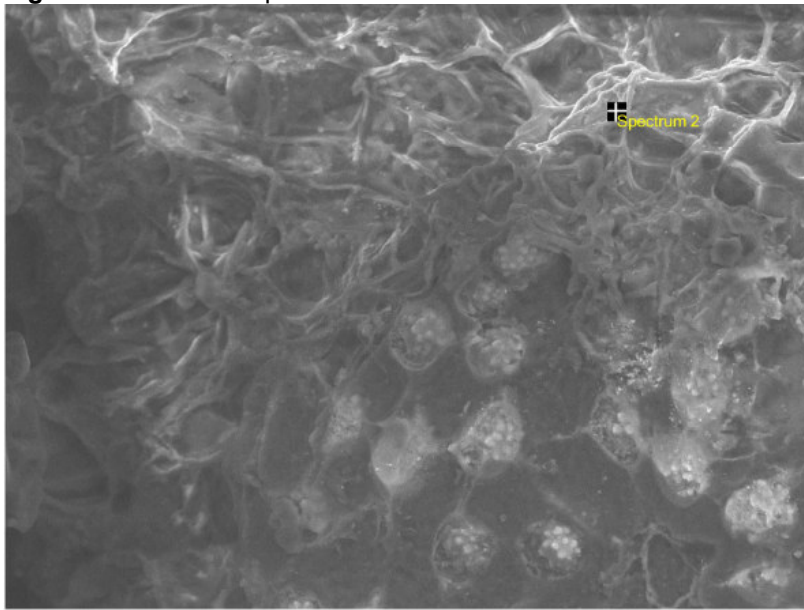


**Tabela 3** – Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica (%)
Carbono	81.508	6.780	85.446
Oxigênio	18.492	6.780	14.554

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

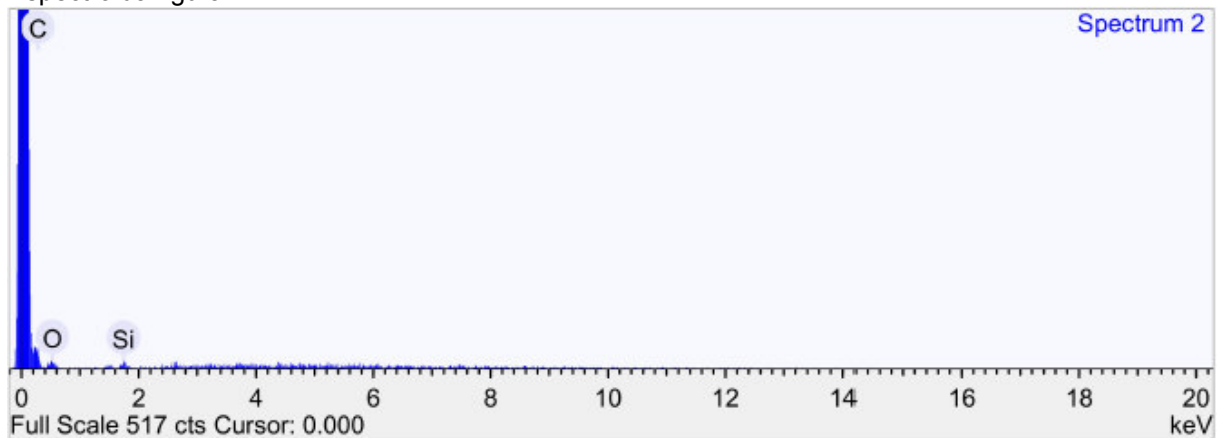
**Figura 17** – EDS e espectro de amostra de filtro

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

Espectro da figura 17

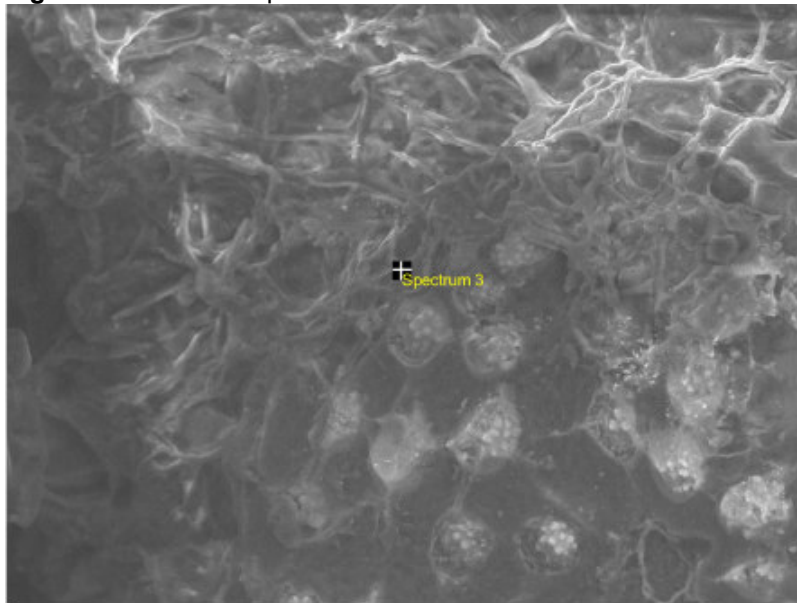
**Tabela 4** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica (%)
Carbono	86.773	7.203	90.566
Oxigênio	10.469	7.404	8.203
Silício	2.758	0.622	1.231

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento



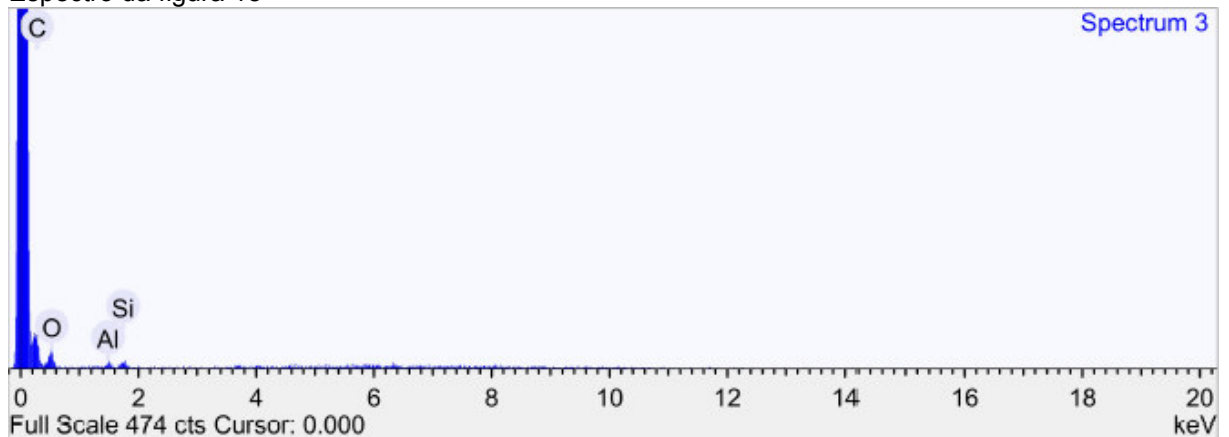
**Figura 18** – EDS e espectro de amostra de filtro

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

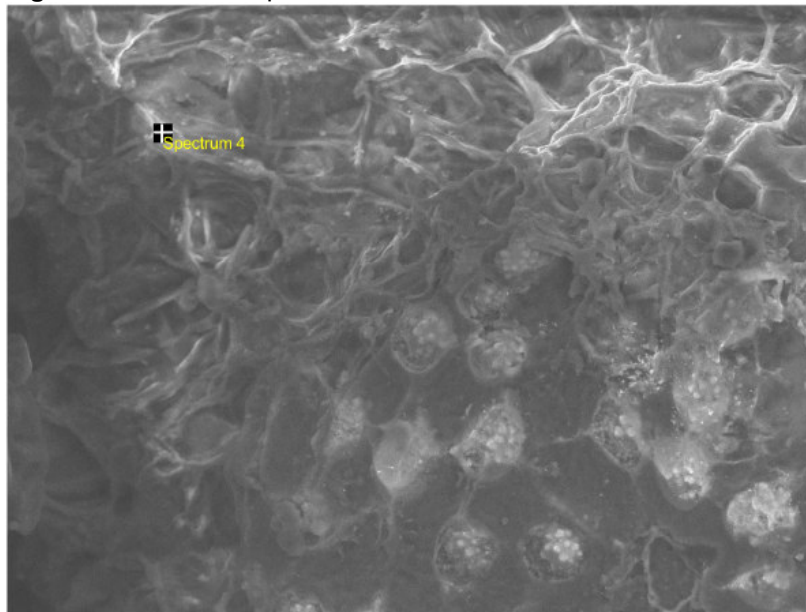
Espectro da figura 18

**Tabela 5** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	70.762	3.745	77.167
Oxigênio	26.027	3.851	21.308
Alumínio	1.442	0.345	0.700
Silício	1.769	0.386	0.825

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

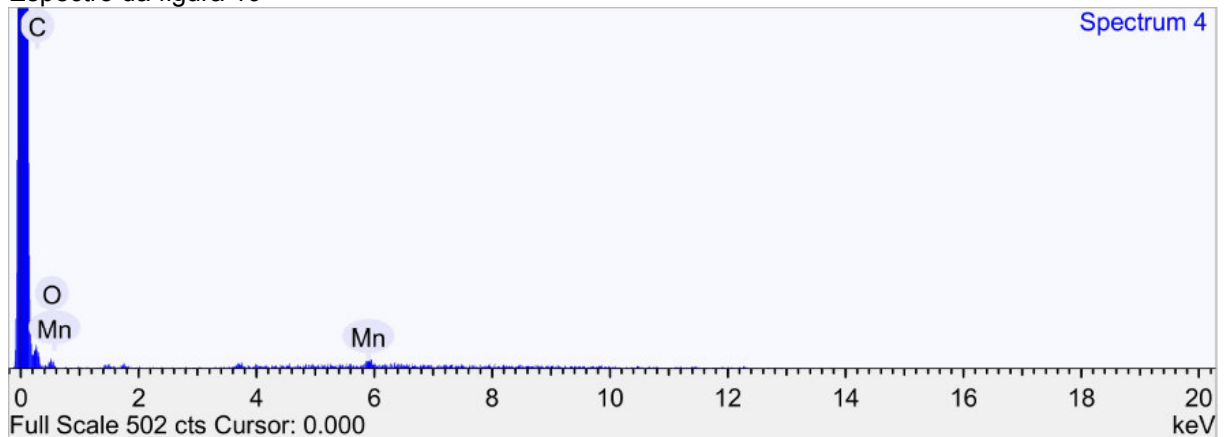
**Figura 19** – EDS e espectro de amostra de filtro

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

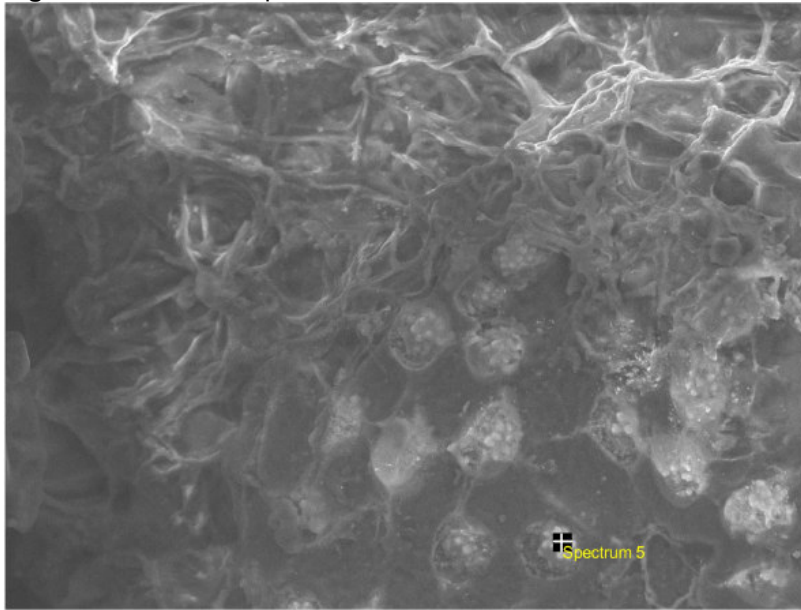
Espectro da figura 19

**Tabela 6** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	78.891	5.216	90.874
Oxigênio	6.217	5.466	5.376
Manganês	14.893	2.736	3.751

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

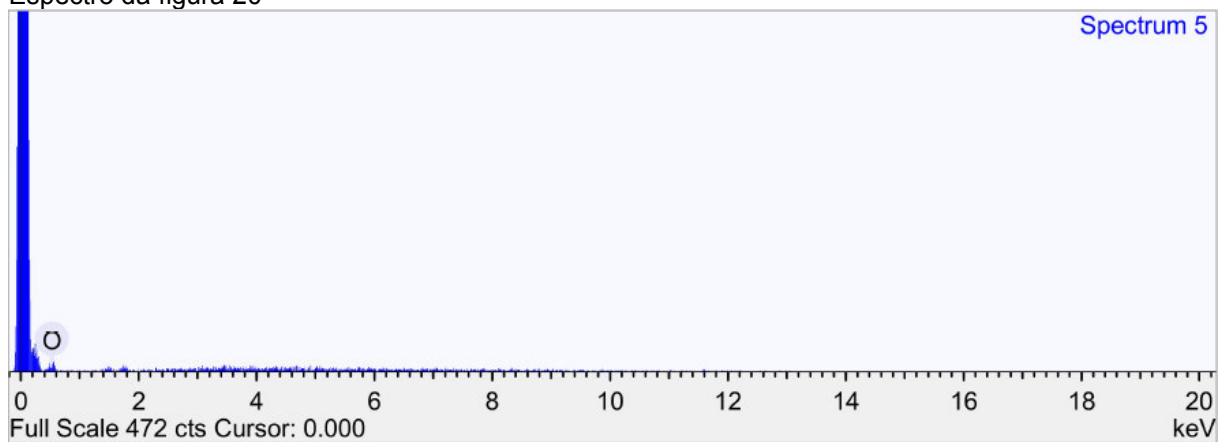
**Figura 20** – EDS e espectro de amostra de filtro

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

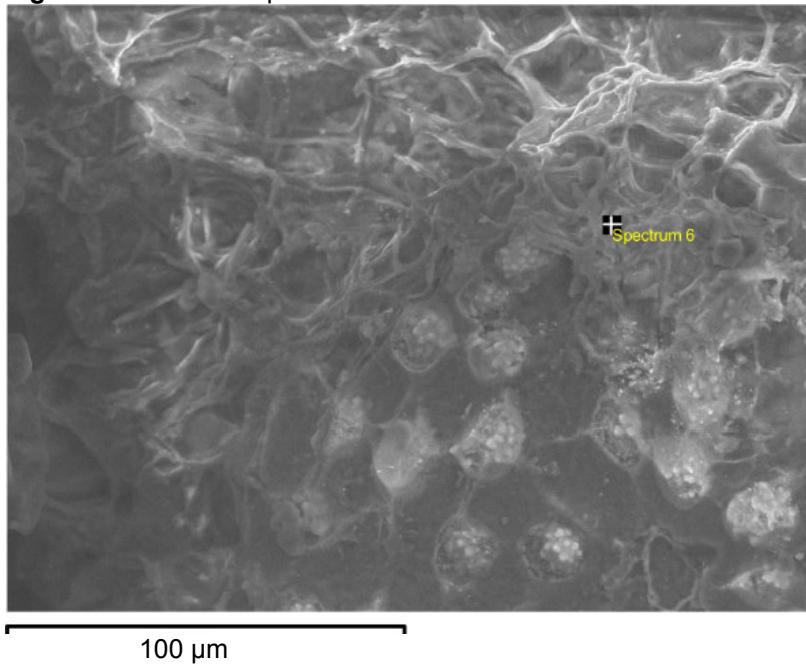
Espectro da figura 20

**Tabela 7** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	78.891	5.216	90.874
Oxigênio	6.217	5.466	5.376
Manganês	14.893	2.736	3.751

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

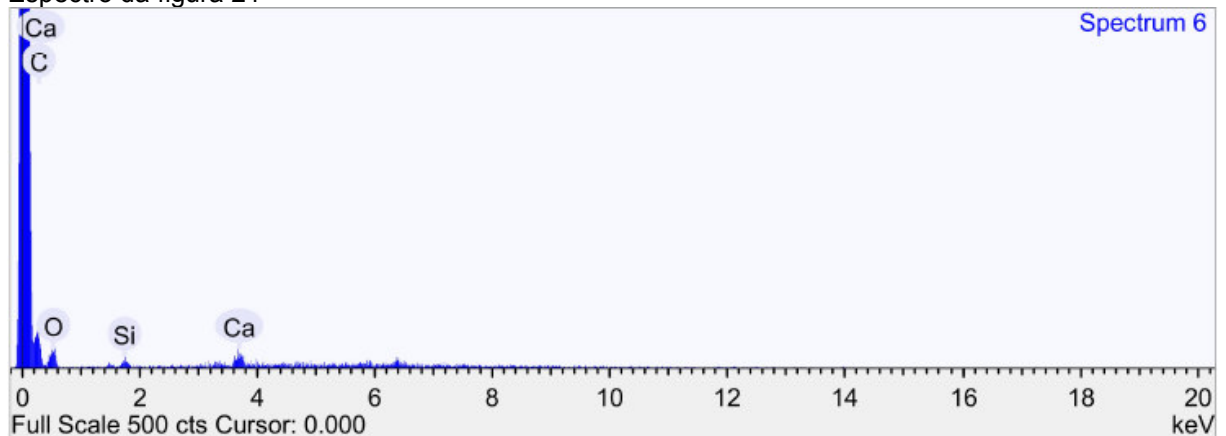
**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

**Figura 21** – EDS e espectro de amostra de filtro

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

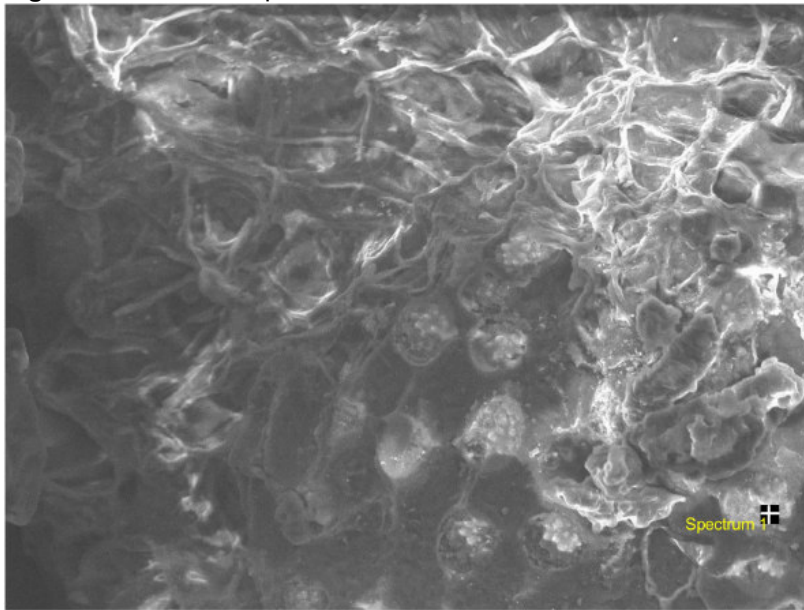
Espectro da figura 21

**Tabela 8** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	61.988	4.582	71.750
Oxigênio	28,186	4.976	24.493
Silício	2.354	0.508	1.165
Cálcio	7.472	1.247	2.592

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

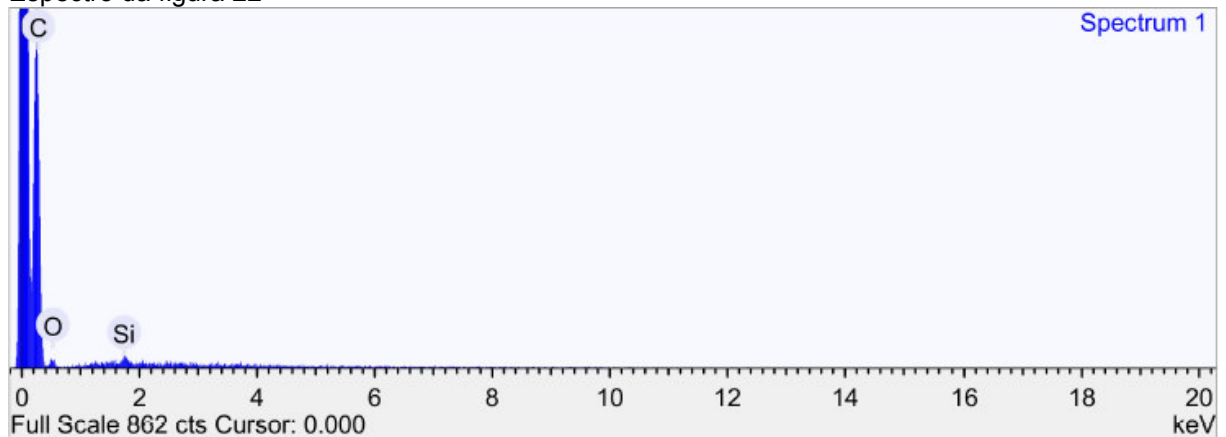
**Figura 22** – EDS e espectro de amostra de filtro

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

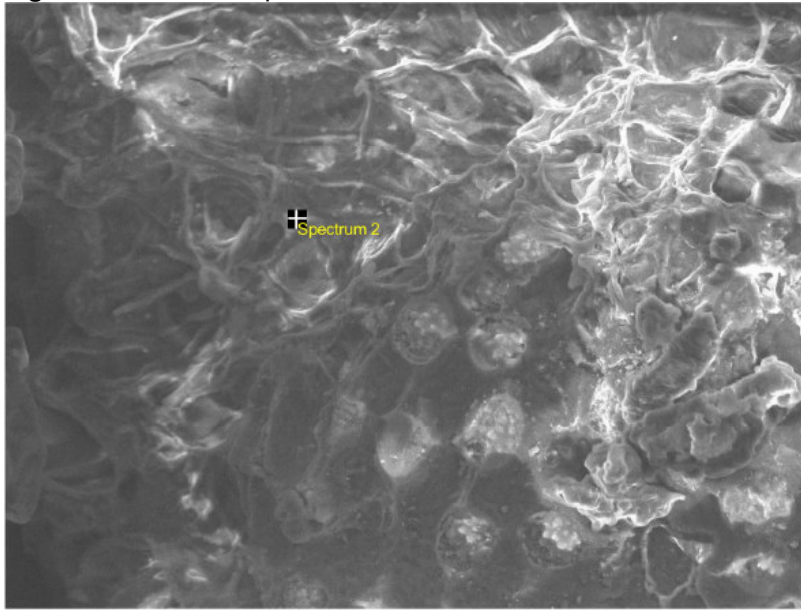
Espectro da figura 22

**Tabela 9** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	91.475	1.744	93.740
Oxigênio	7.625	1.749	5.866
Silício	0.899	0.197	0.394

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

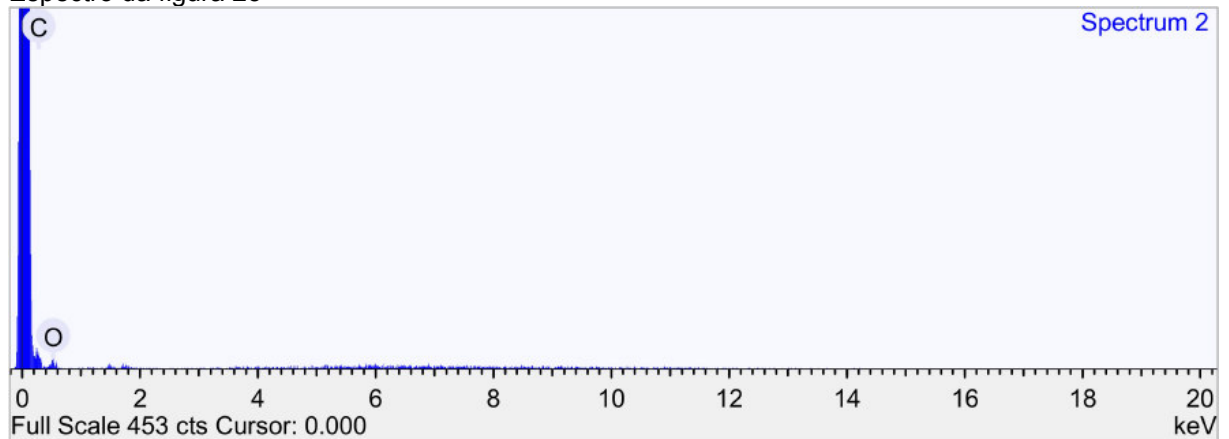
**Figura 23** – EDS e espectro de amostra de filtro

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

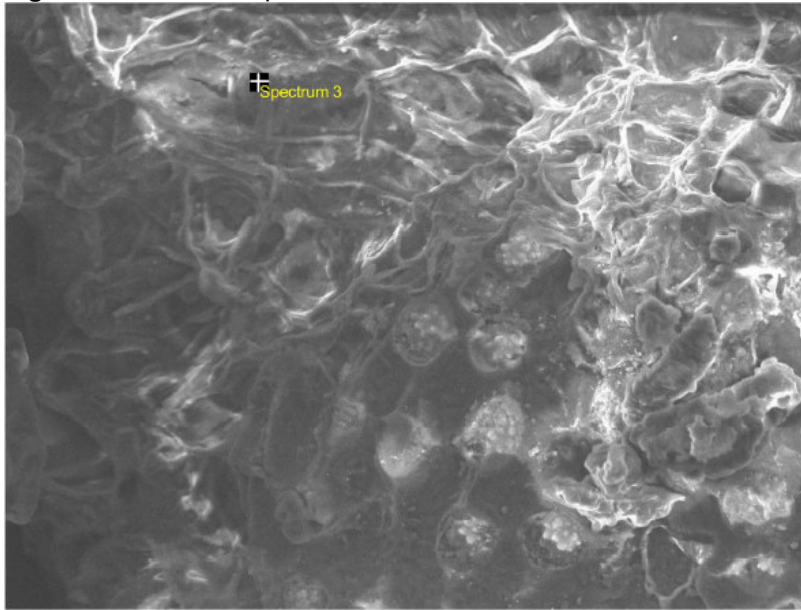
Espectro da figura 23

**Tabela 10** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	85.198	9.467	88.462
Oxigênio	14.802	9.467	11.538

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

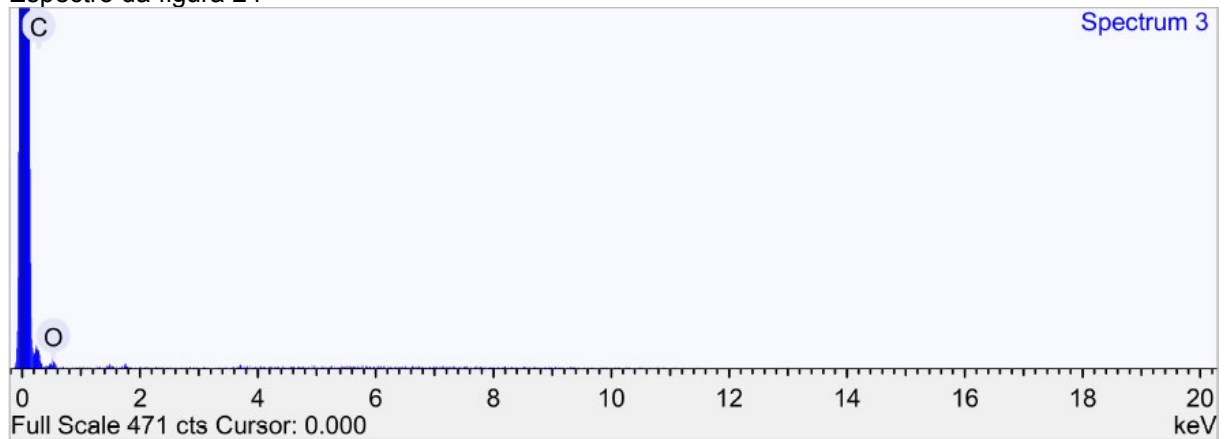
**Figura 24** – EDS e espectro de amostra de filtro

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

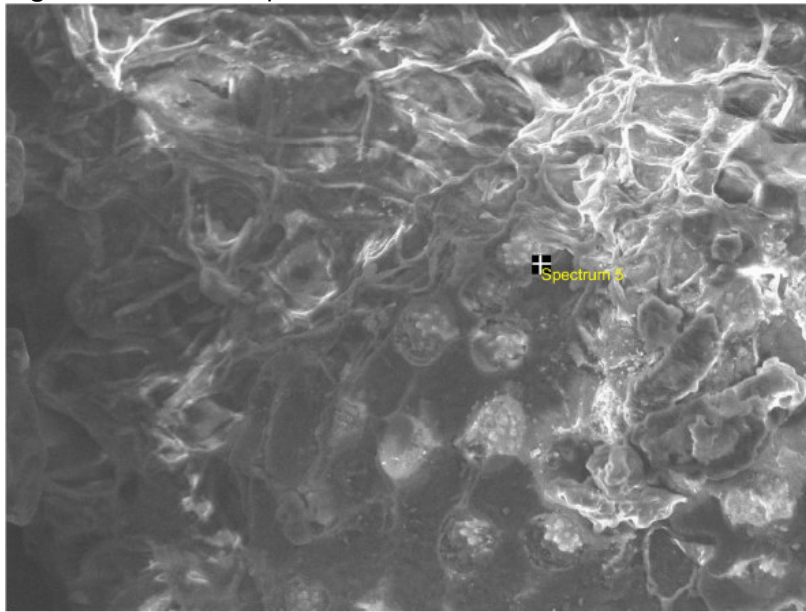
Espectro da figura 24

**Tabela 11** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	88.200	9.231	90.872
Oxigênio	11.800	9.231	9.128

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

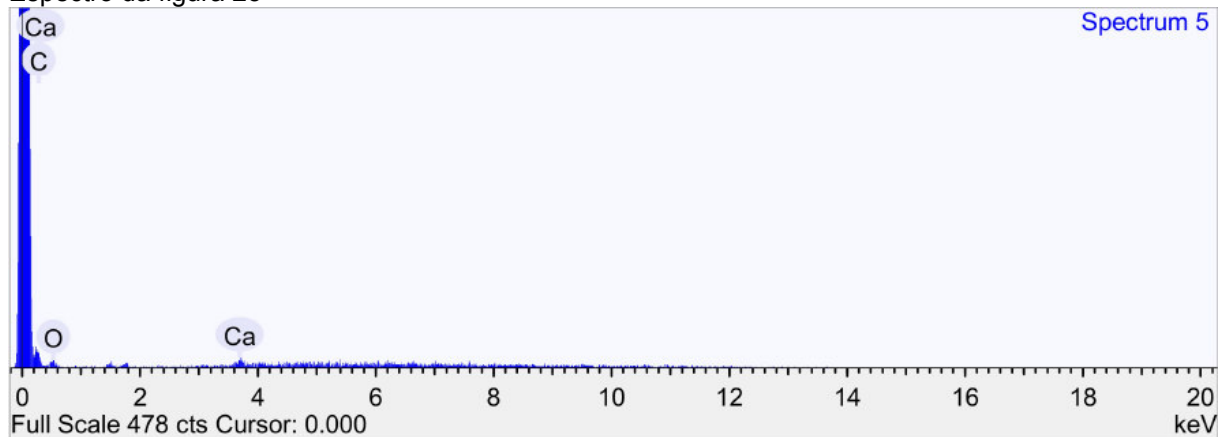
**Figura 25** – EDS e espectro de amostra de filtro

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

Espectro da figura 25

**Tabela 12** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	89.345	2.327	96.549
Oxigênio	0.000	0.000	0.000
Cálcio	10.655	2.327	3.451

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

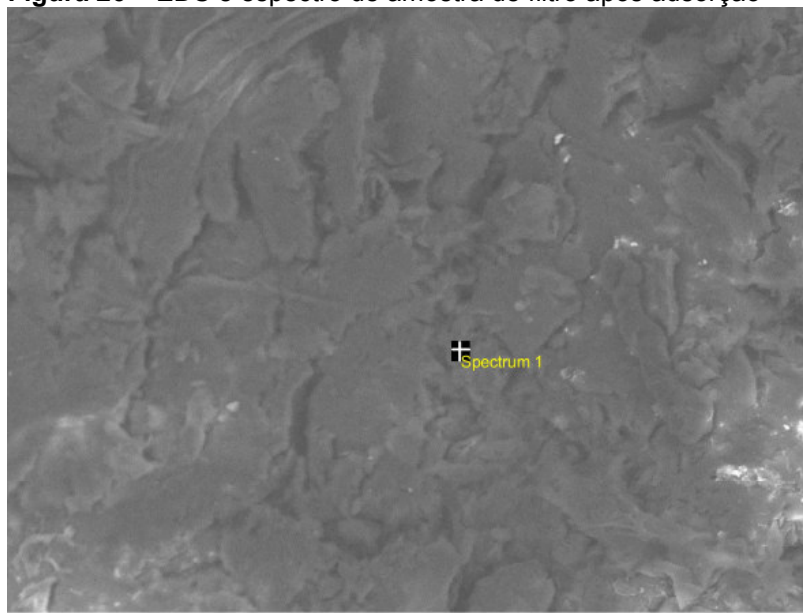


A borra de açai por ser um material lignocelulósico, constituído de 70% de celulose, hemicelulose e lignina [70], pode ser utilizada como adsorvente de metais pesados, pois este material é constituído por ácidos lignínicos e fenólicos, grupos funcionais carboxílicos, carbonílicos, aldeídos e ésteres, além de apresentar uma elevada quantidade de silício, favorecendo a propriedade adsorvente desse material [71]

Após os ensaios de adsorção foram determinados qualitativamente e quantitativamente por análise de EDS como mostram os espectros a seguir os elementos minerais os elementos químicos Índio e Enxofre, elementos estes contaminantes do meio aquático.

O elemento químico Índio apresenta alta densidade e é considerado um elemento não-tóxico, podendo ser encontrado em resíduos industriais.

A identificação do enxofre deve-se a sua presença na composição de óleo diesel. O transporte marítimo tem um grande desafio nos próximos anos que é alcançar a meta estabelecida pela IMO (Organização Marítima Internacional) de redução do teor de enxofre dos combustíveis usados no setor, passando de 3,5% para 0,5%, a partir de 2020.

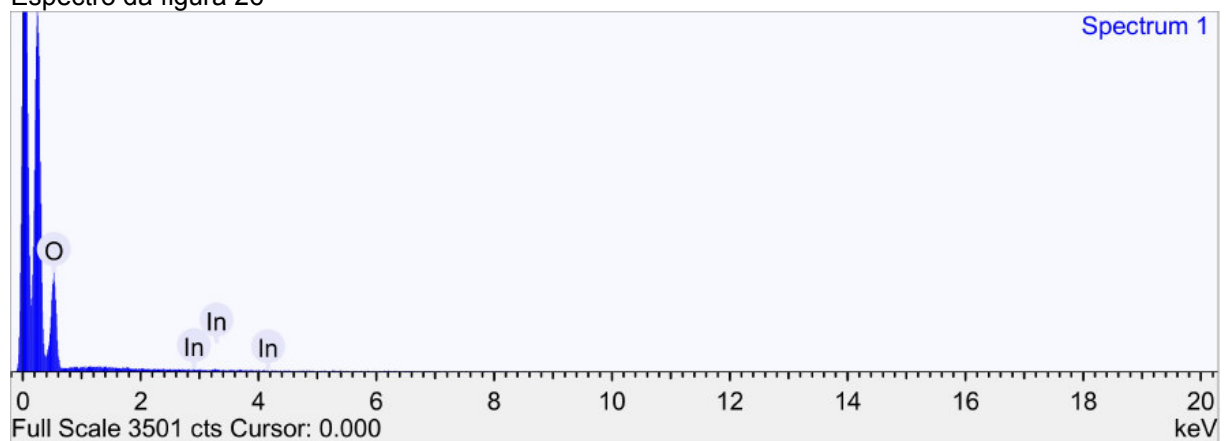
**Figura 26** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

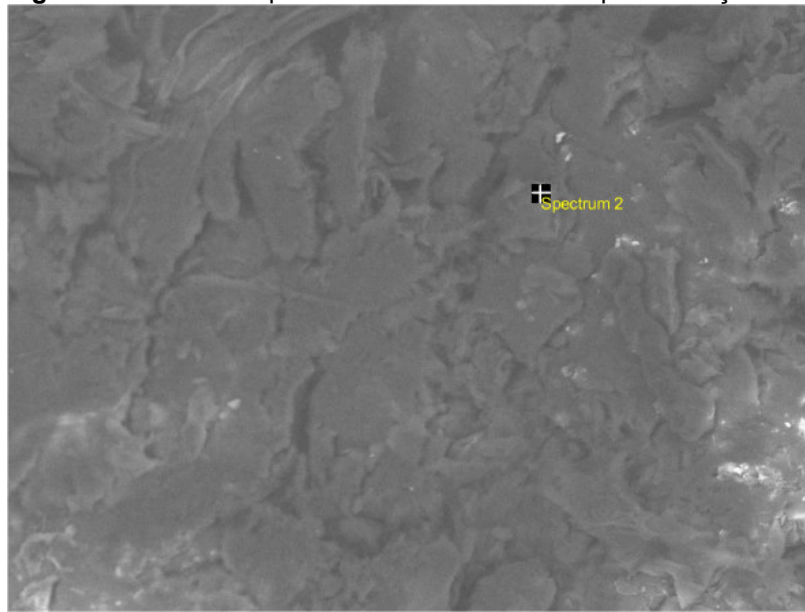
Espectro da figura 26

**Tabela 13** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Oxigênio	97.476	0.801	99.641
Índio	2.524	0.801	0.359

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

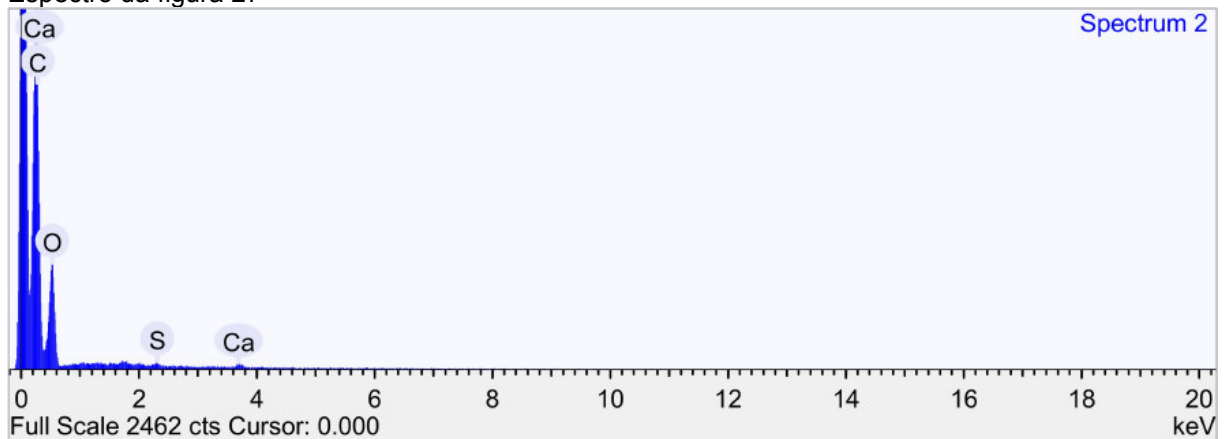
**Figura 27** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

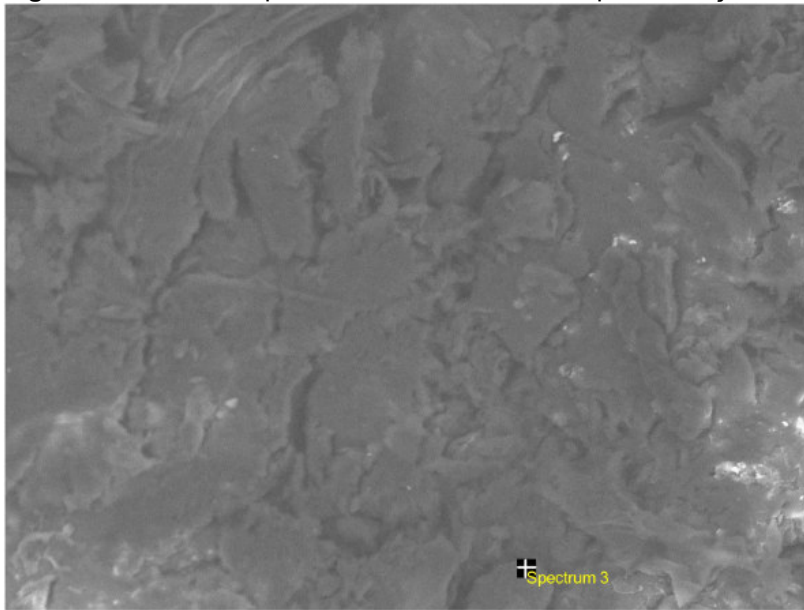
Espectro da figura 27

**Tabela 14** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	58.322	0.681	65.261
Oxigênio	41.106	0.682	34.532
Enxofre	0.182	0.048	0.076
Cálcio	0.390	0.057	0.131

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

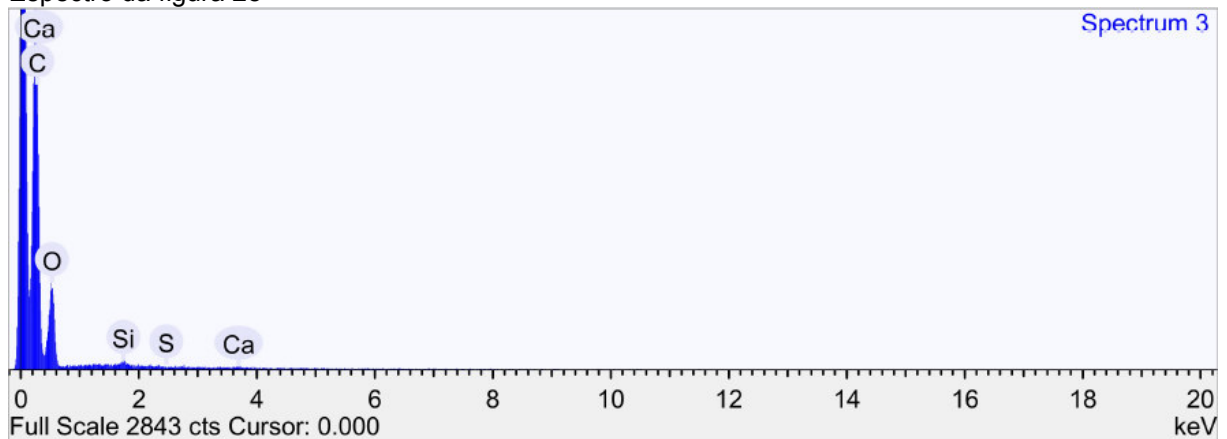
**Figura 28** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

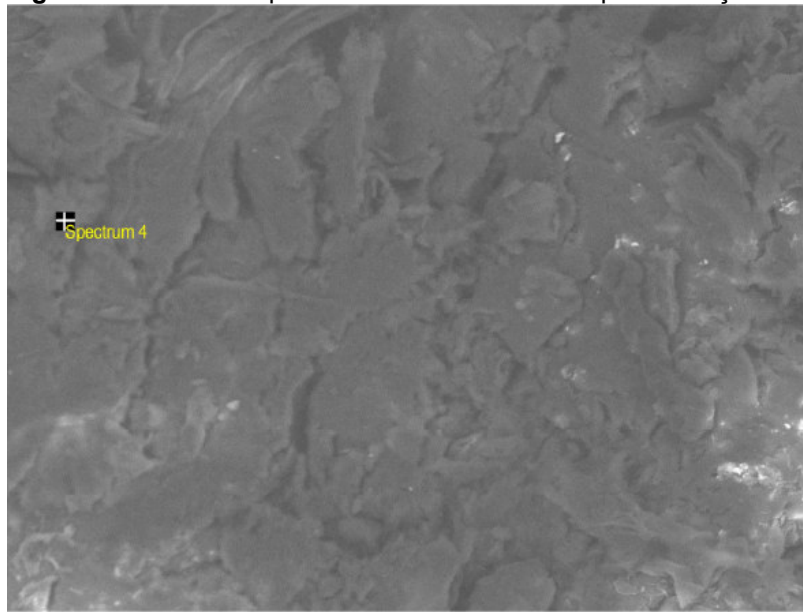
Espectro da figura 28

**Tabela 15** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	61.997	0.665	68.584
Oxigênio	37.639	0.665	31.259
Silício	0.243	0.046	0.115
Enxofre	0.024	0.042	.0010
Cálcio	0.097	0.048	0.032

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

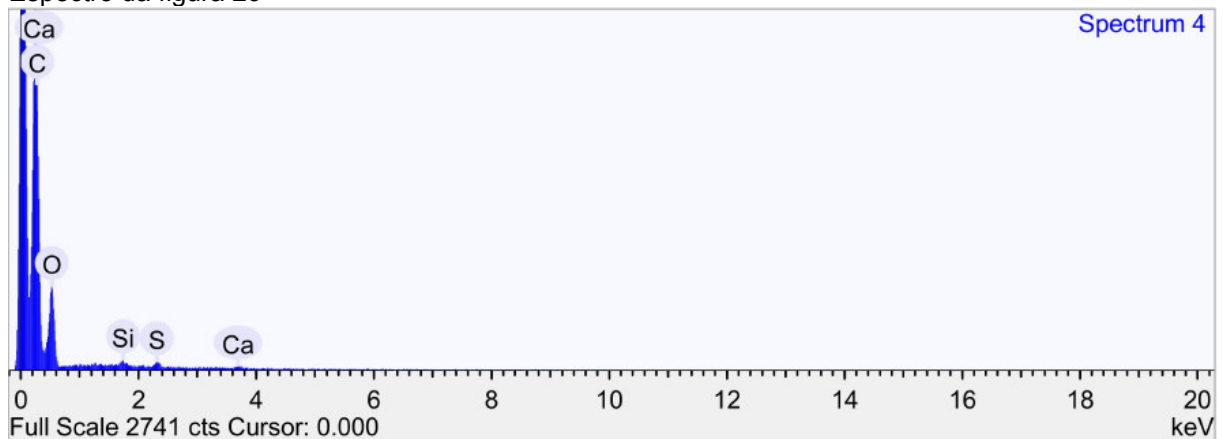
**Figura 29** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

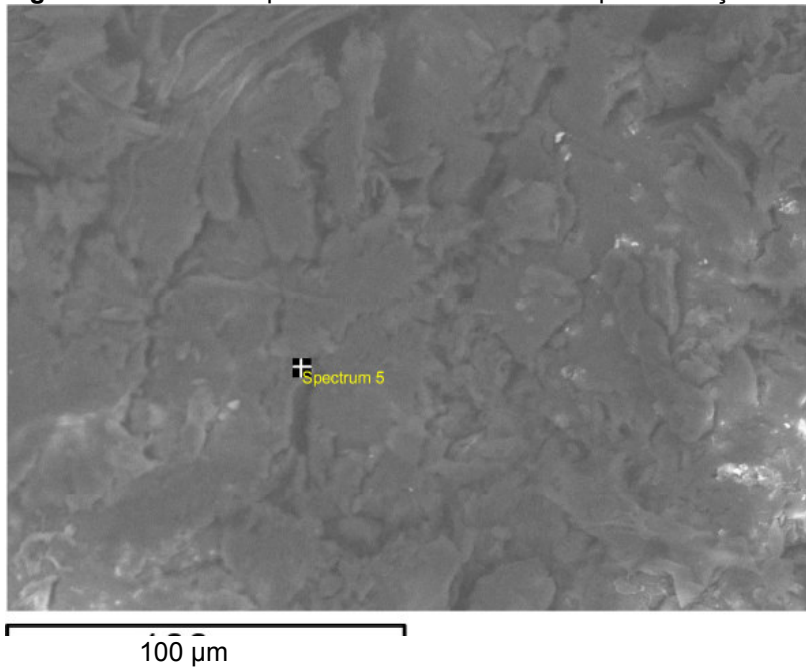
Espectro da figura 29

**Tabela 16** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	62.391	0.686	69.091
Oxigênio	36.753	0.687	30.555
Silício	0.254	0.049	0.120
Enxofre	0.405	0.052	.0168
Cálcio	0.197	0.053	0.065

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

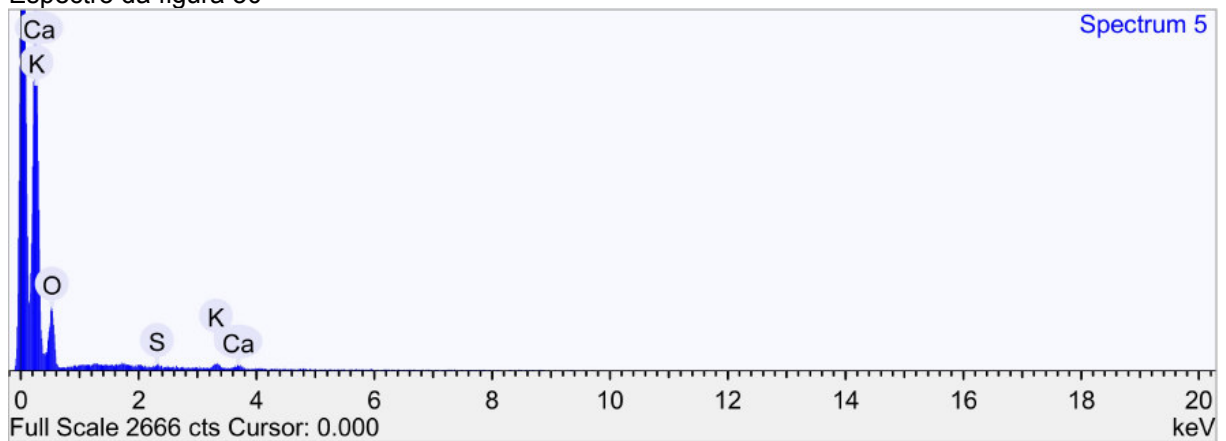
**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

**Figura 30** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

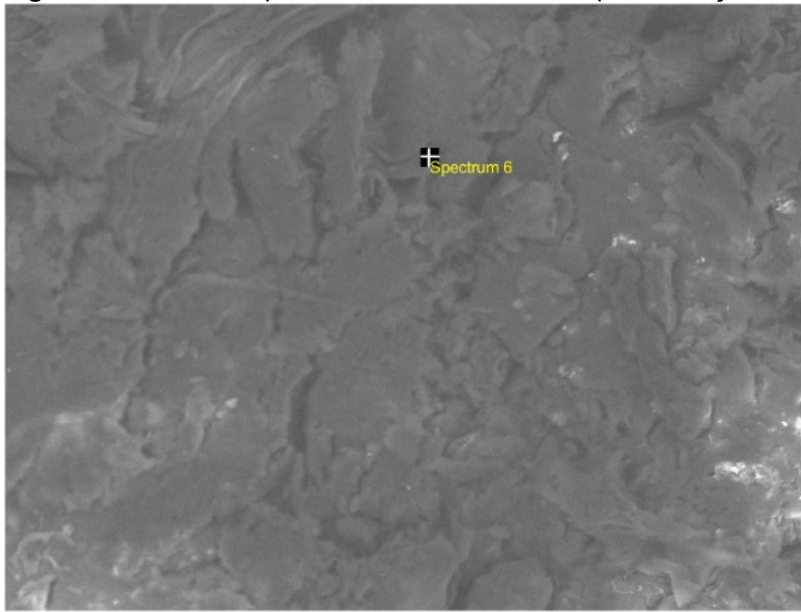
Espectro da figura 30

**Tabela 17** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Oxigênio	89.018	0.883	95.058
Enxofre	1.904	0.462	1.014
Potássio	5.383	0.567	2.352
Cálcio	3.696	0.553	1.575

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

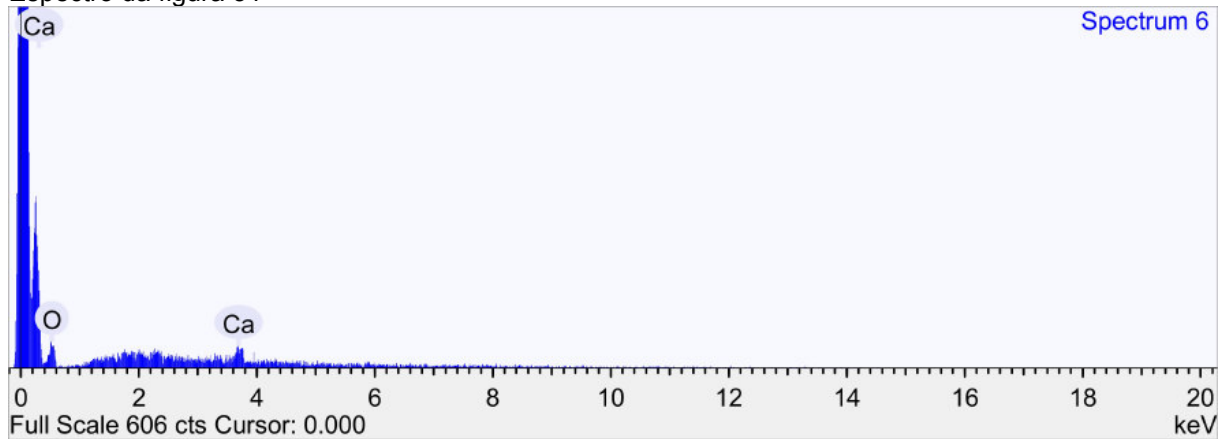
**Figura 31** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

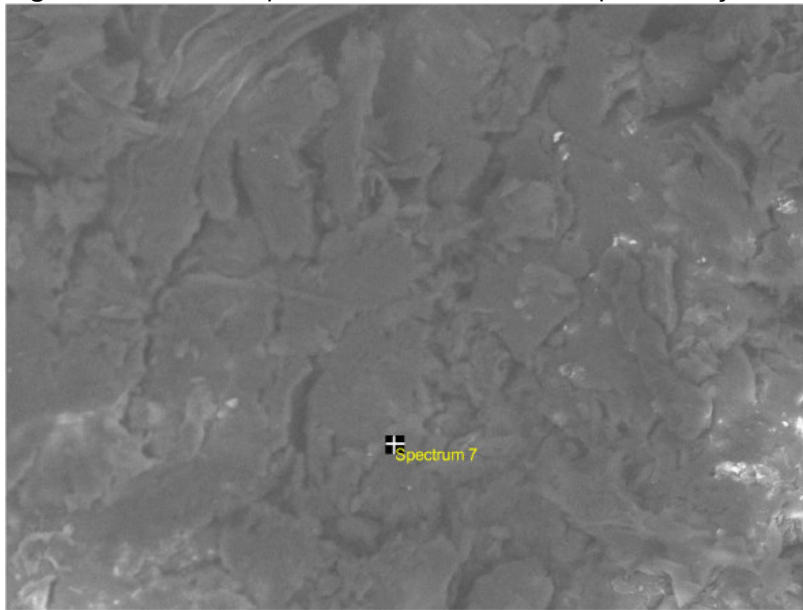
Espectro da figura 31

**Tabela 18** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Oxigênio	80.261	2.569	91.061
Cálcio	19.739	2.569	8.939

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

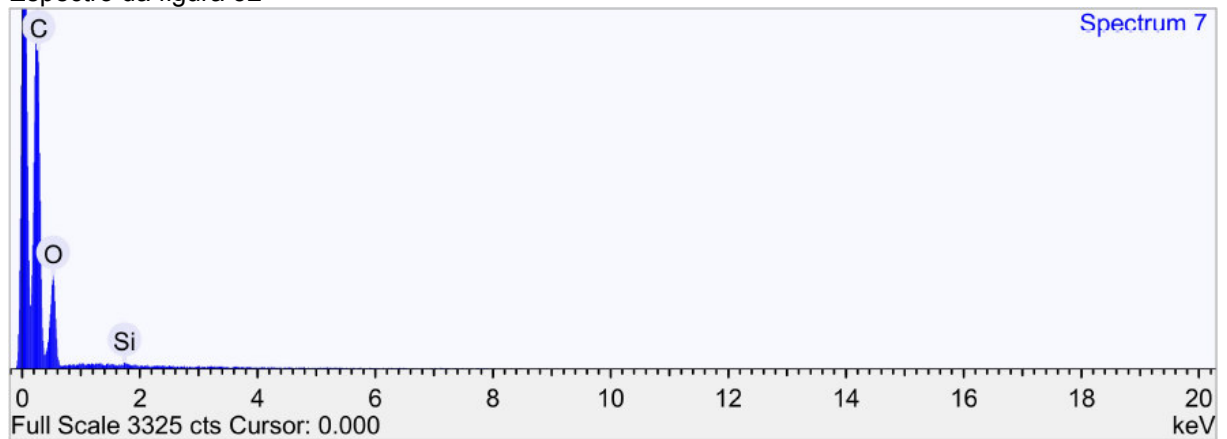
**Figura 32** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

Espectro da figura 32

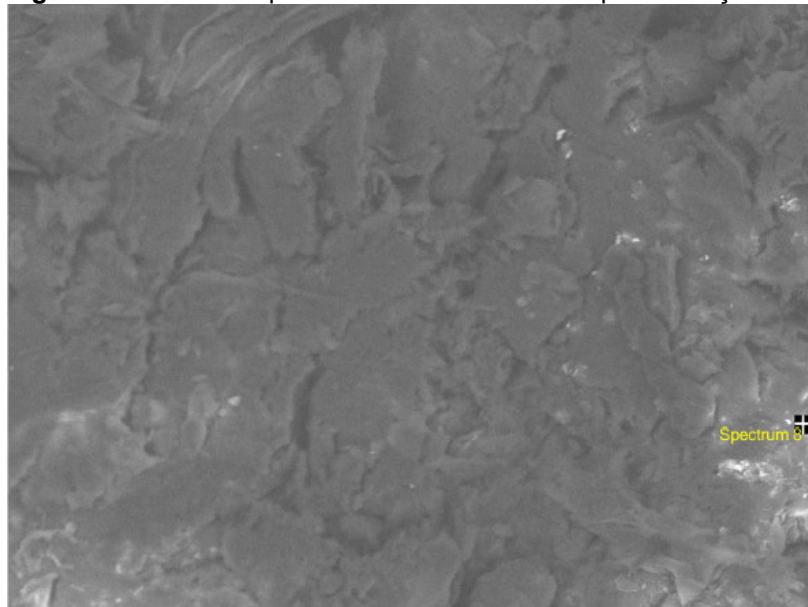
**Tabela 19** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	59.506	0.662	66.226
Oxigênio	40.327	0.662	33.694
Silício	0.167	0.041	0.080

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento



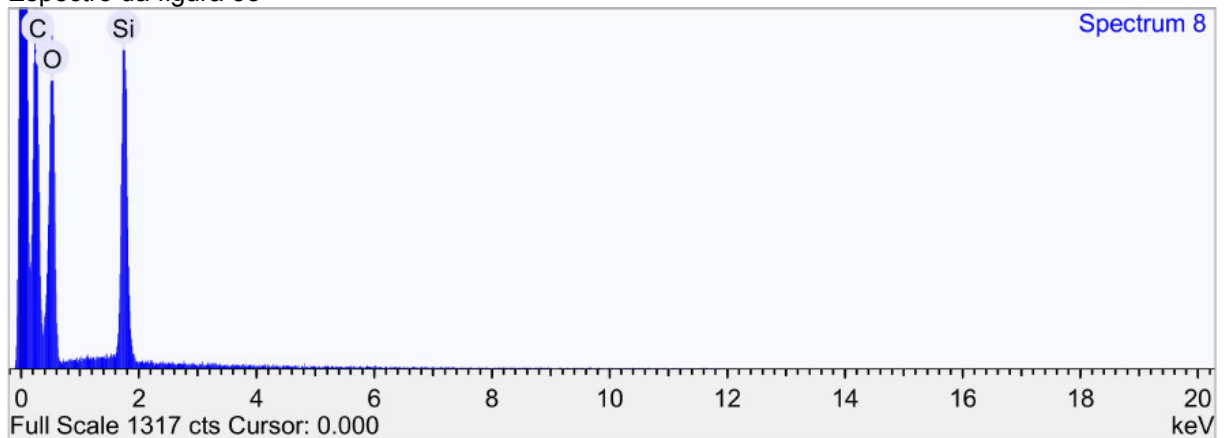
**Figura 33** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

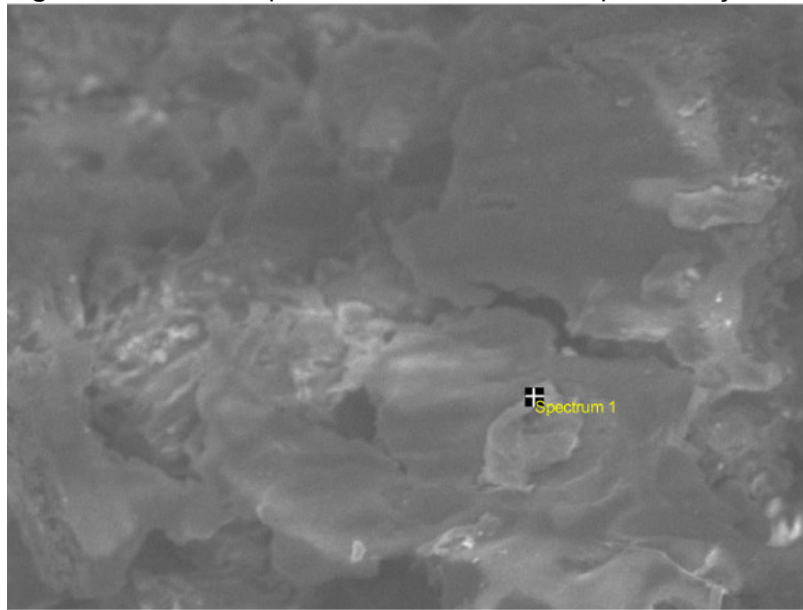
Espectro da figura 33

**Tabela 20** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	43.334	0.759	52.359
Oxigênio	47.038	0.714	42.666
Silício	9.628	0.187	4.975

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

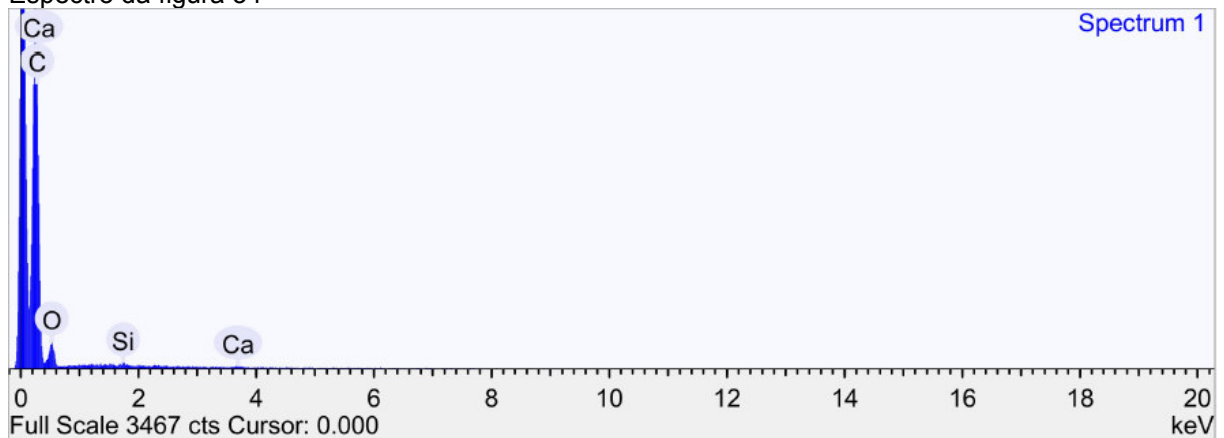
**Figura 34** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

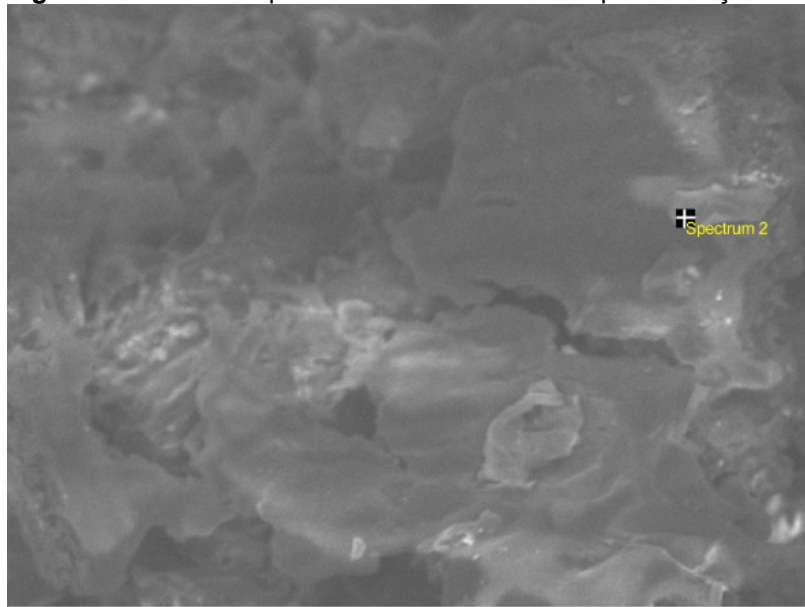
Espectro da figura 34

**Tabela 21** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	77.622	0.758	82.353
Oxigênio	21.939	0.759	17.474
Silício	0.243	0.050	0.110
Cálcio	0.196	0.058	0.062

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

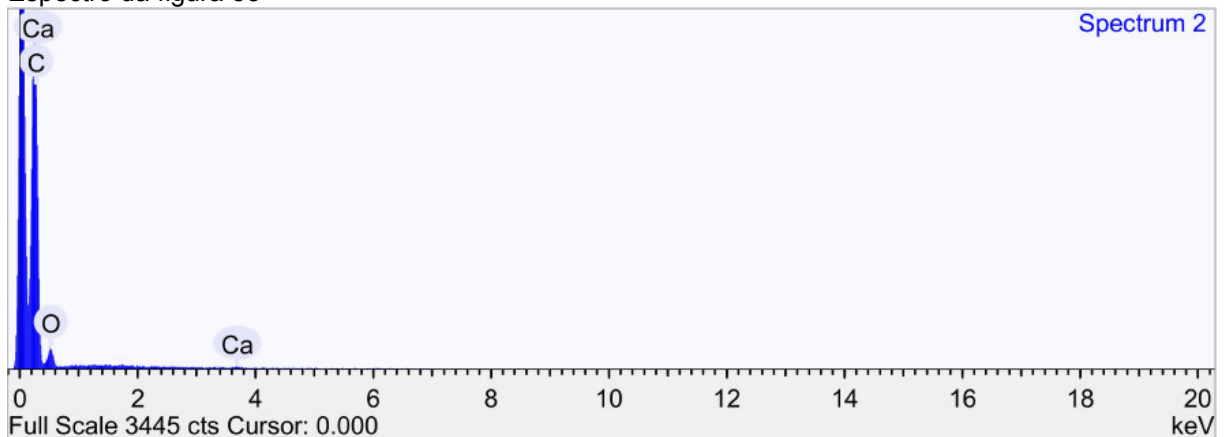
**Figura 35** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

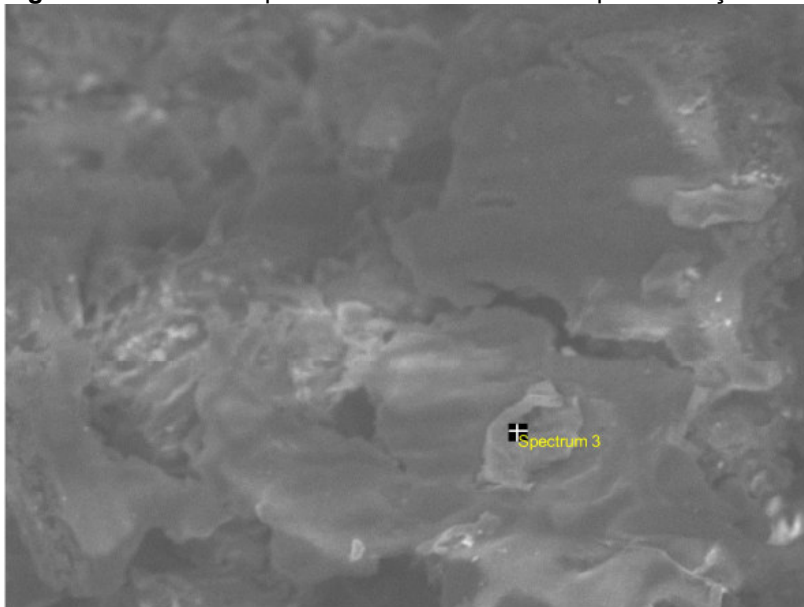
Espectro da figura 35

**Tabela 22** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	80.400	0.795	84.614
Oxigênio	19.391	0.795	15.320
Cálcio	0.209	0.060	0.066

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

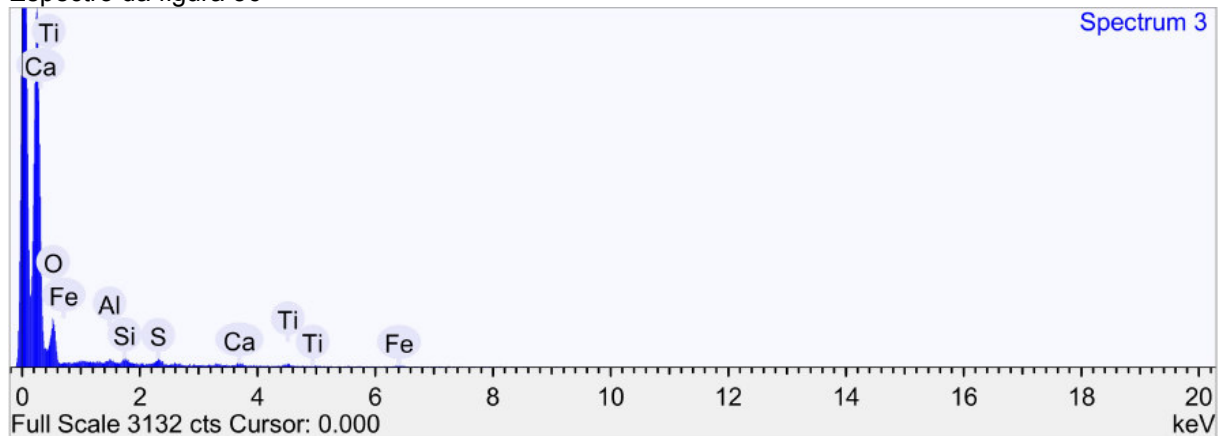
**Figura 36** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

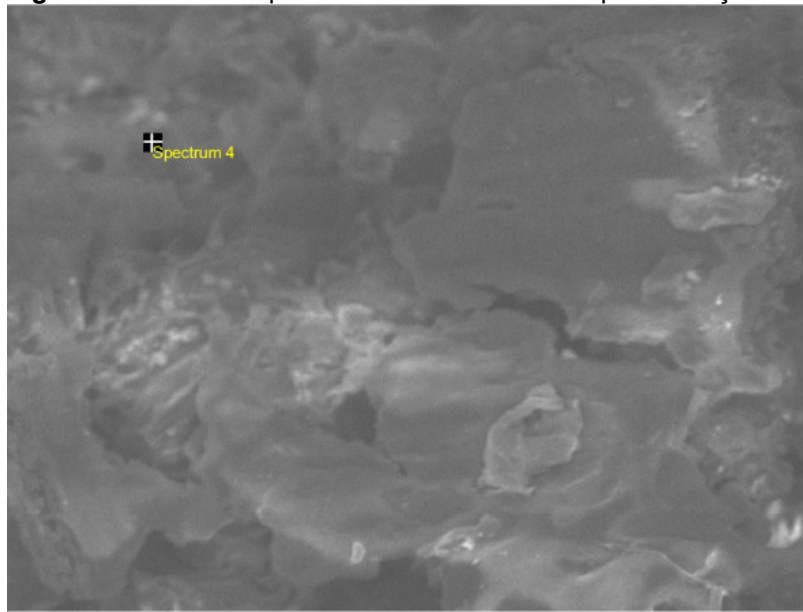
Espectro da figura 36

**Tabela 23** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Oxigênio	69.853	2.711	83.959
Alumínio	3.879	0.802	2.765
Silício	4.817	0.828	3.298
Enxofre	6.616	0.917	3.968
Cálcio	4.336	0.794	2.080
Titânio	5.509	1.043	2.212
Ferro	4.988	1.431	1.718

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

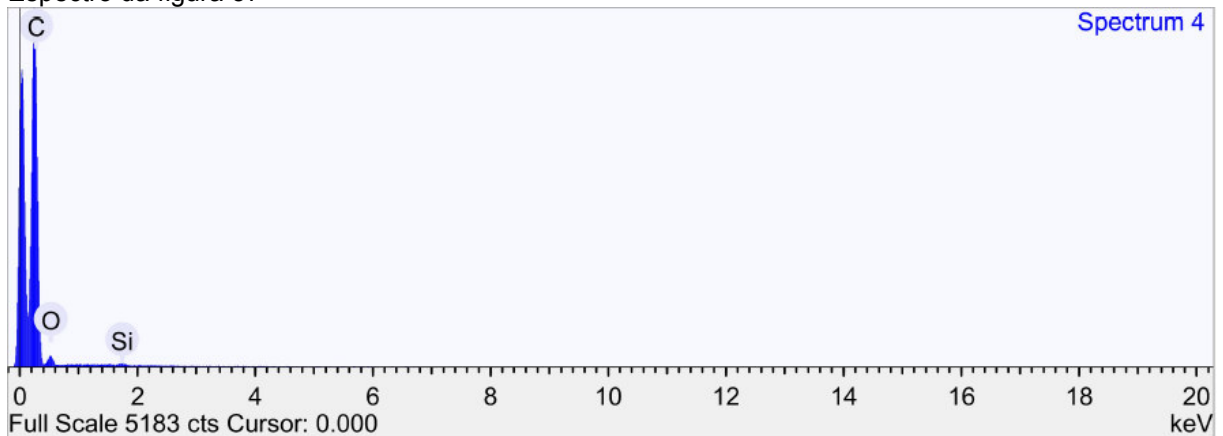
**Figura 37** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

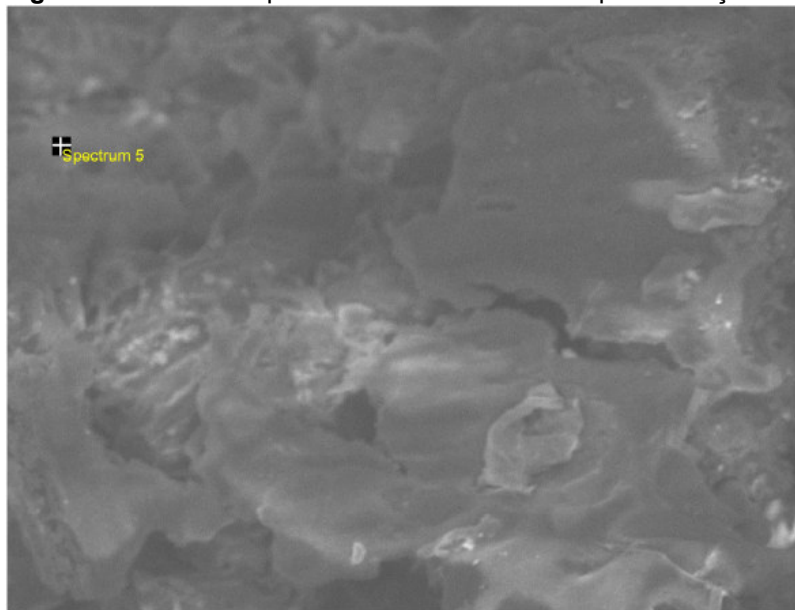
Espectro da figura 37

**Tabela 24** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	87.130	0.792	90.092
Oxigênio	12.622	0.793	9.798
Silício	0.249	0.048	0.110

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

**Figura 38** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

100 μm

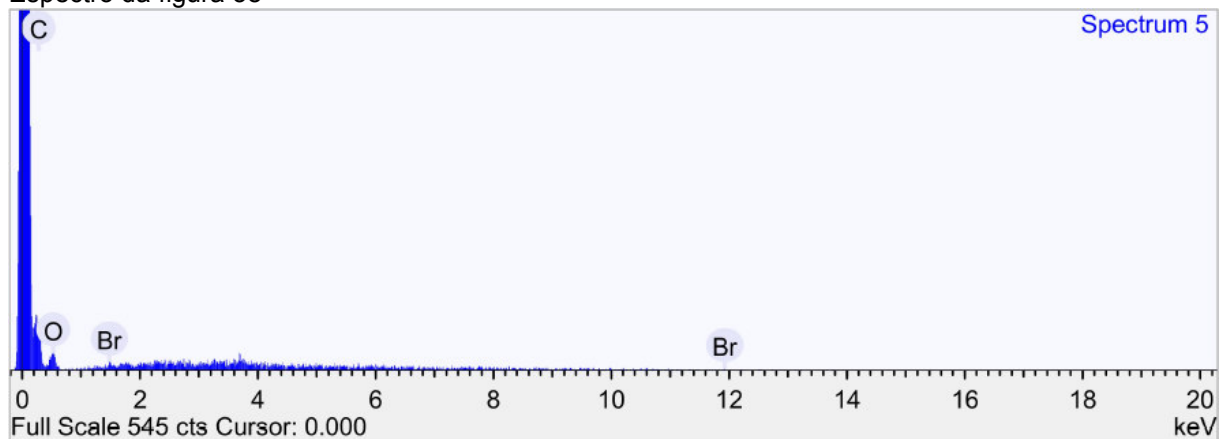
**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0

Tempo de aquisição(s)  
100

Tempo de processamento(s)  
5

Espectro da figura 38

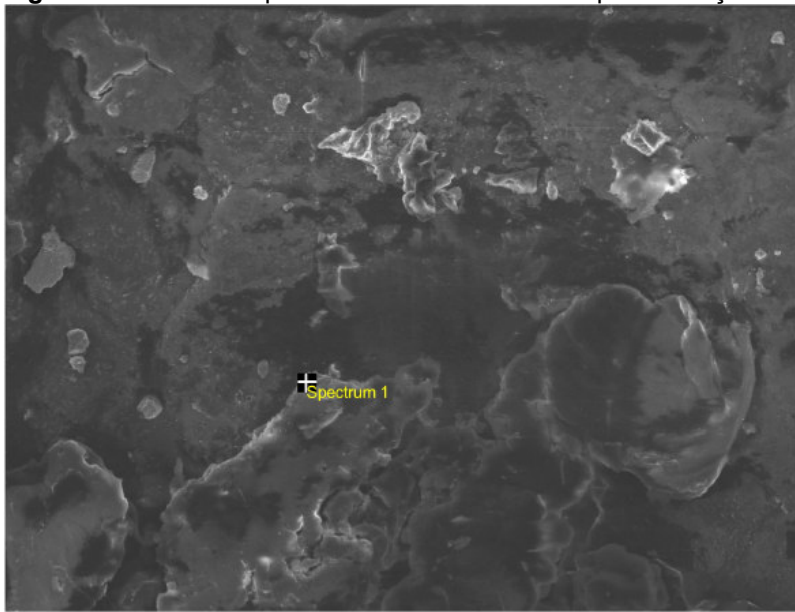
**Tabela 25** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	67.365	3.733	74.675
Oxigênio	29.881	3.776	24.866
Bromo	2.754	0.866	0.459

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.**Notas:** Métodos de quantificação:

Normalizado para todos os elementos

Amostra sem revestimento

**Figura 39** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

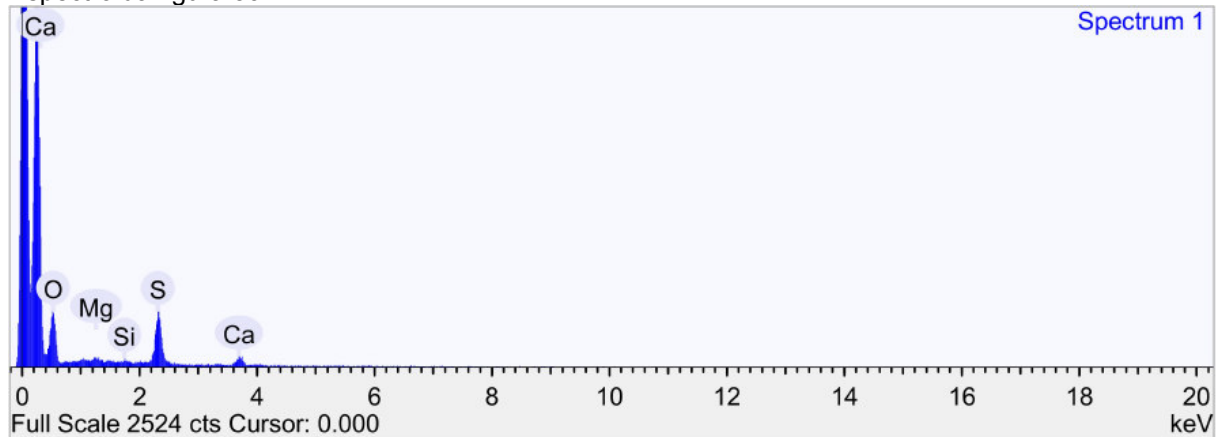
Voltagem de aceleração (kV):  
15.0

Tempo de aquisição(s)  
100

Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

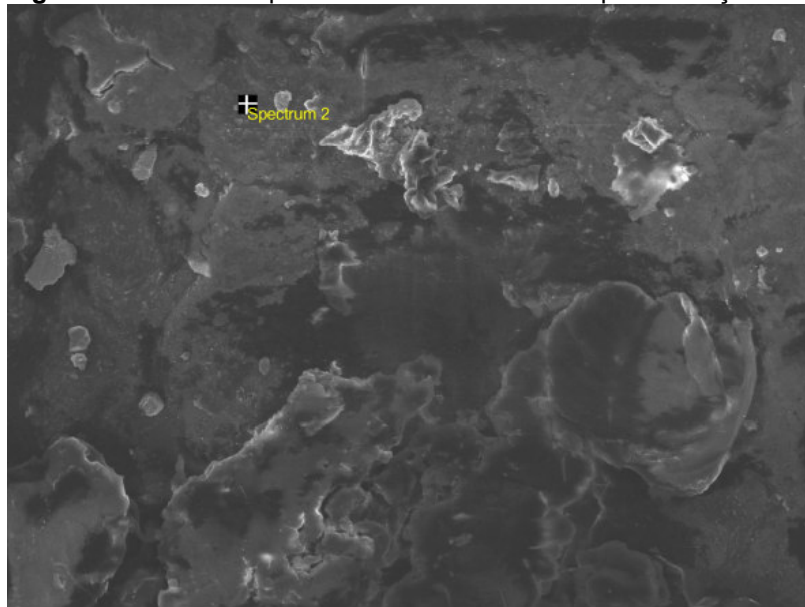
Espectro da figura 39

**Tabela 26** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Oxigênio	72.435	0.834	84.258
Magnésio	1.569	0.354	1.201
Silício	0.923	0.247	0.611
Enxofre	19.705	0.640	11.437
Cálcio	5.369	0.390	2.493

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

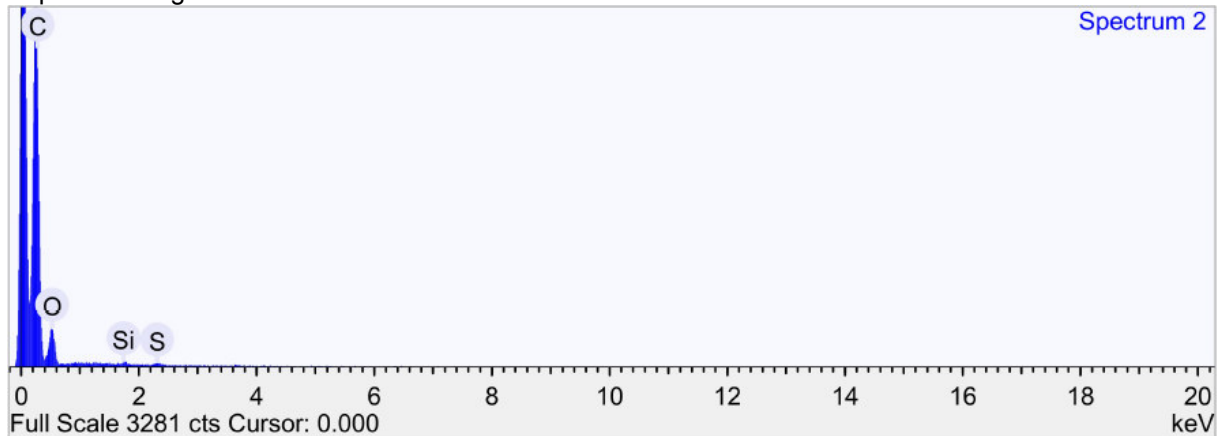
**Figura 40** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

100 μm

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

Espectro da figura 40

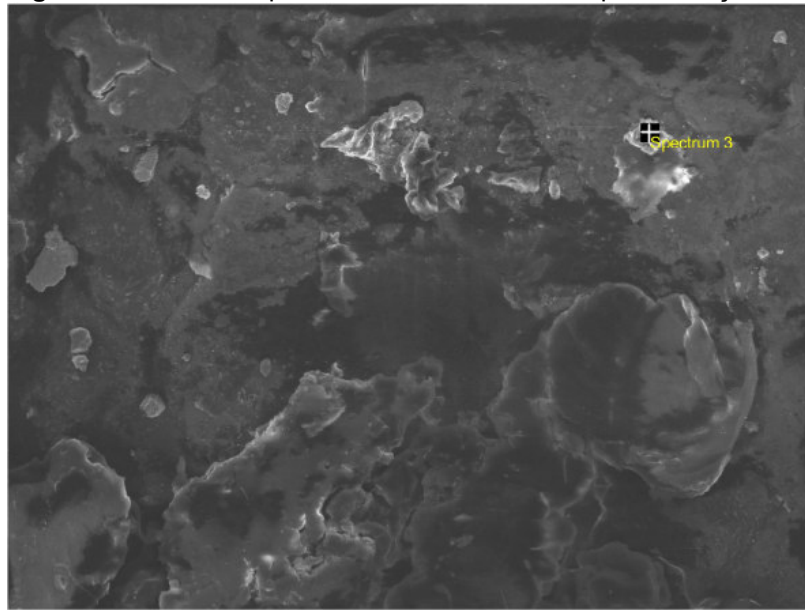
**Tabela 27** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica (%)
Carbono	72.222	0.849	77.730
Oxigênio	27.319	0.851	22.073
Silício	0.202	0.048	0.093
Enxofre	0.257	0.052	0.103

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação: Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento



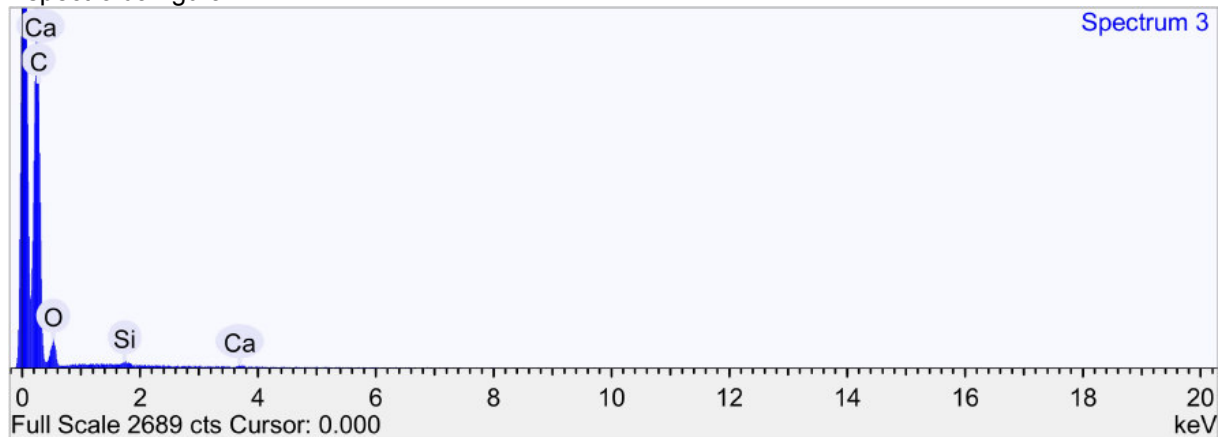
**Figura 41** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

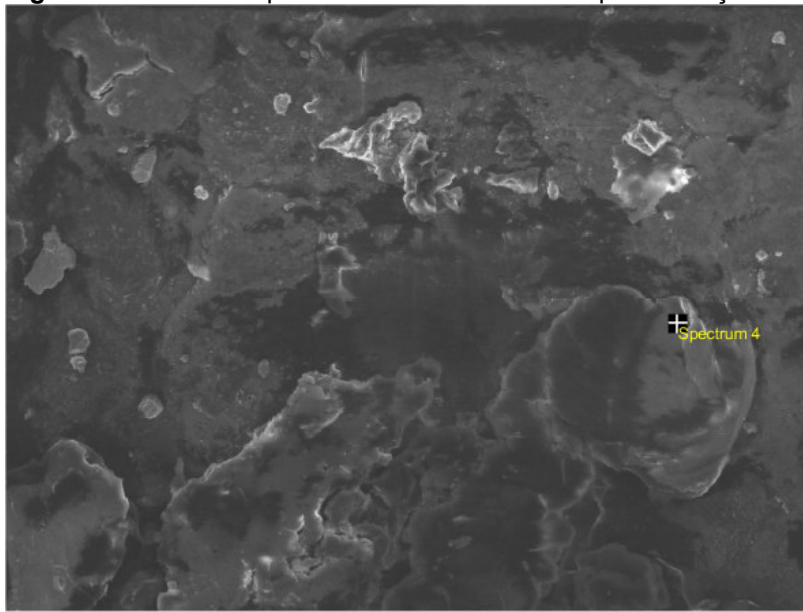
Espectro da figura 41

**Tabela 28** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica (%)
Carbono	76.354	0.833	81.319
Oxigênio	23.108	0.834	18.476
Silício	0.246	0.060	0.112
Cálcio	0.292	0.062	0.093

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

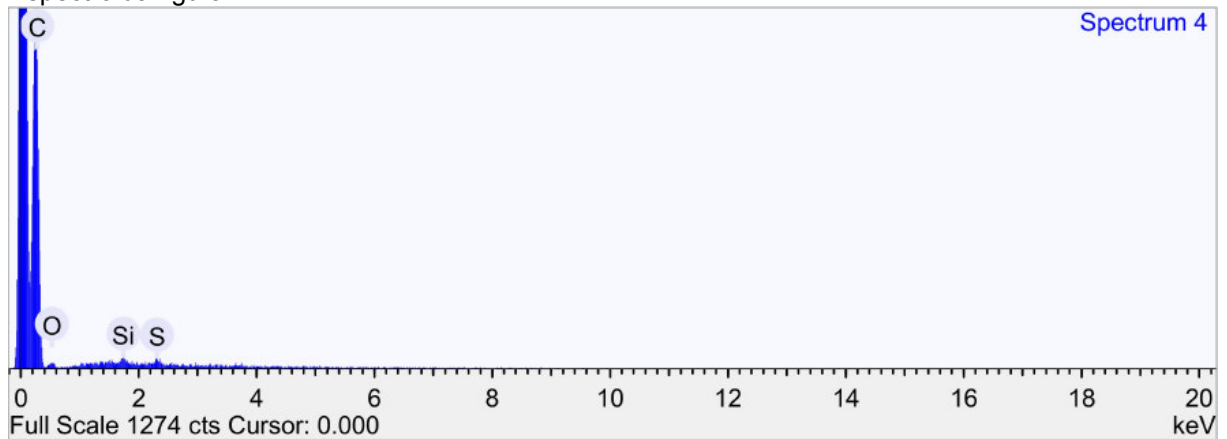
**Figura 42** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

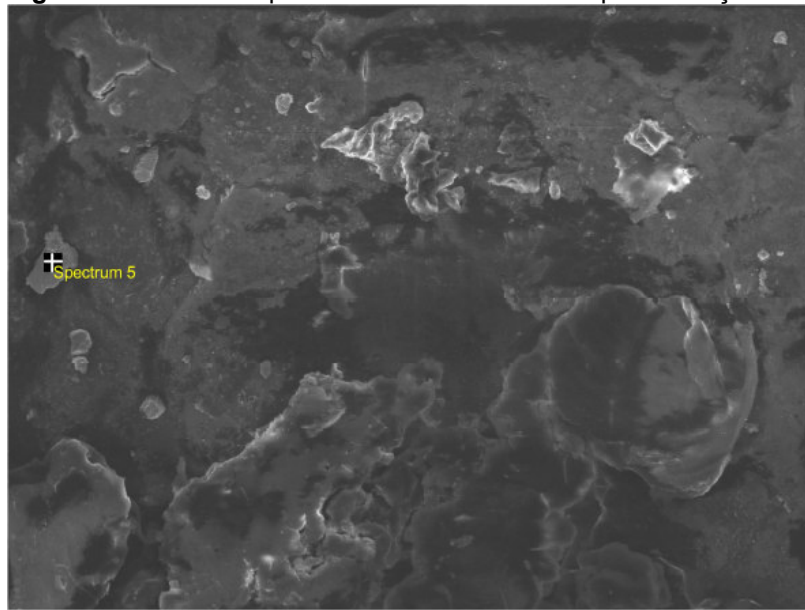
Espectro da figura 42

**Tabela 29** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica (%)
Carbono	91.845	1.241	94.237
Oxigênio	6.718	1.238	5.175
Silício	0.666	0.152	0.292
Cálcio	0.770	0.176	0.296

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

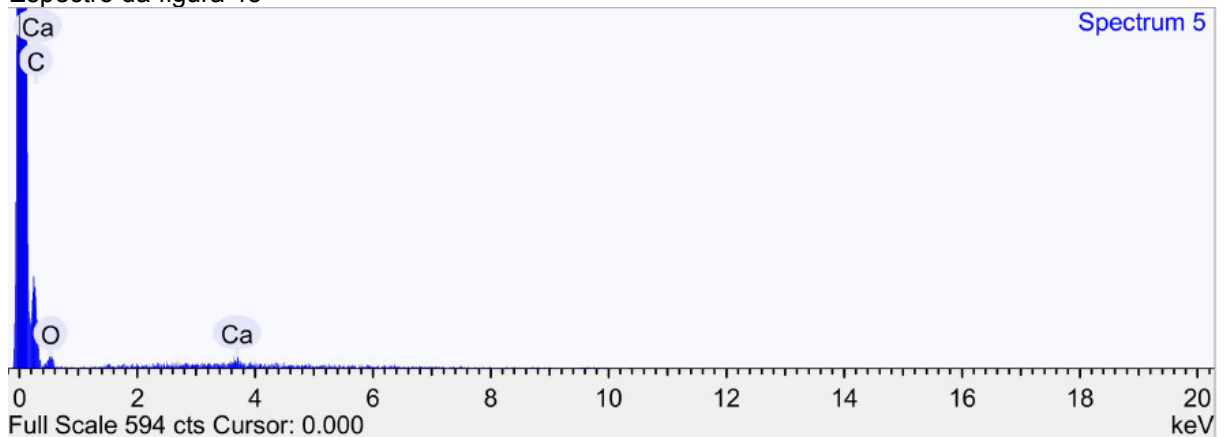
**Figura 43** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

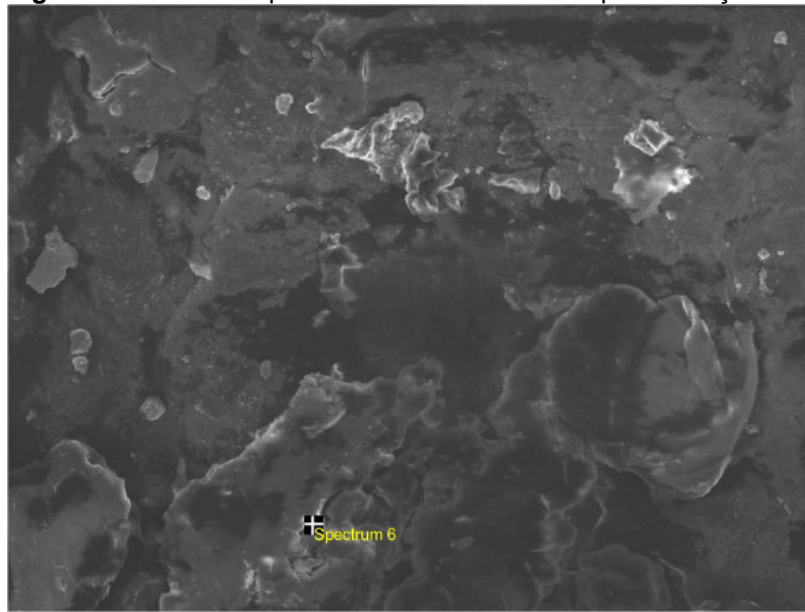
Espectro da figura 43

**Tabela 30** - Resumo de resultados de amostra de filtro

Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica (%)
Carbono	77.924	4.312	83.672
Oxigênio	19.046	4.396	15.353
Cálcio	3.030	0.883	0.975

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

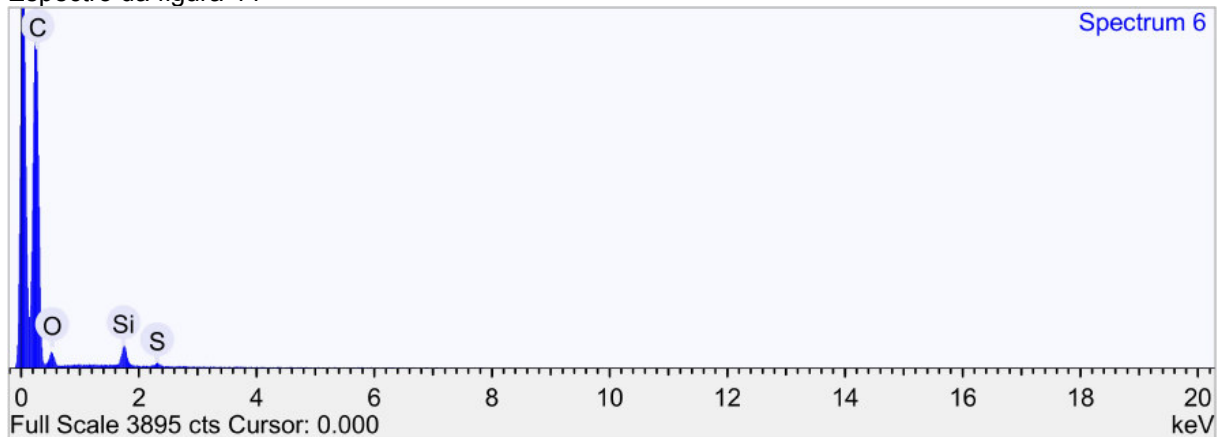
**Figura 44** – EDS e espectro de amostra de filtro após adsorção

**Notas:** Condições de aquisição:

Voltagem de aceleração (kV):  
15.0  
Tempo de aquisição(s)  
100  
Tempo de processamento(s)  
5

100 μm

Espectro da figura 44

**Tabela 31** - Resumo de resultados de amostra de filtro

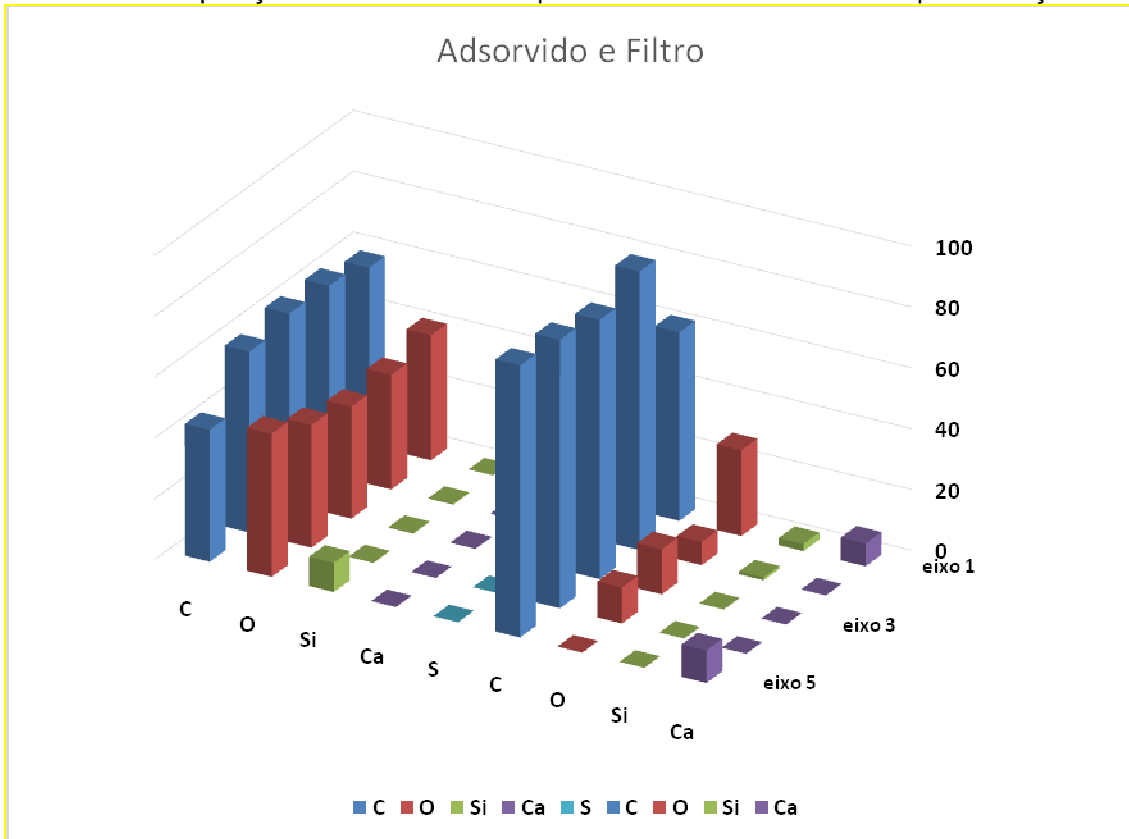
Elemento	Massa (%)	Massa ( $\sigma\%$ )	Atômica %
Carbono	83.927	0.773	88.191
Oxigênio	13.577	0.784	10.711
Silício	2.083	0.087	0.936
Enxofre	0.412	0.058	0.162

**Fonte:** Adaptado pelo autor do trabalho.

**Notas:** Métodos de quantificação:  
Normalizado para todos os elementos  
Amostra sem revestimento

O gráfico 3 descreve uma comparação entre os elementos presentes na borra *in natura* e após o teste de adsorção. Observa-se que 75% das amostras de EDS apresentam o elemento Enxofre.

**Gráfico 3** - Comparação entre os elementos presentes na borra *in natura* e após adsorção



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

## 6 CONCLUSÃO

Foram confeccionados filtros de PEADr/borra de açai cilíndricos de  $234,7\text{cm}^2$  e circulares de  $673,1\text{cm}^2$ , todos eficientes no processo de adsorção de resíduos oleosos em barreira de contenção de um navio-tanque.

A dimensão de partículas de PEADr impediu o fechamento total da superfície de filtros rotomoldados, ficando borra incrustada e exposta tanto na parte interna quanto na parte externa. Superfícies de filtros foram observadas por Microscopia Óptica apresentando poros de  $0,1\text{mm}$  com coalescência parcial de partículas de PEADr, estas exibindo uma superfície de aproximadamente  $0,218\text{mm}$ .

Nos ensaios de adsorção em escala piloto e em barreira de contenção ocorreu adsorção mássica de  $5 \times 10^{-2}$  e adsorção volumétrica de  $5,8 \times 10^{-2}$  de óleo em 5 minutos de arraste.

Após adsorção foi observado por Microscopia Eletrônica de Varredura, película oleosa nas superfícies fraturadas de filtros, 75% apresentaram Enxofre e eventualmente Índio por de Espectroscopia de Energia Dispersiva. Comprovando eficiência de adsorção de óleo diesel e de resíduo oleoso.

## REFERÊNCIAS

- [1] ONWUEGBUCHUNAM, D. *et al.* An analysis of ship-source marine pollution in Nigeria seaports. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 5, n. 3, p. 39, 2017.
- [2] GREEN, Hilary S. *et al.* Pelagic tar balls collected in the North Atlantic Ocean and Caribbean Sea from 1988 to 2016 have natural and anthropogenic origins. **Marine Pollution Bulletin**, v. 137, p. 352-359, 2018.
- [3] LU, Jinshu *et al.* Experimental and numerical investigations on reliability of air barrier on oil containment in flowing water. **Marine Pollution Bulletin**, v. 95, p. 200-206, 2015.
- [4] SONGSAENG, Siripak; THAMYONGKIT, Patchanita; POOMPRADUB, Sirilux. Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills. **Journal of Advanced Research**, v. 20, p. 79-89, 2019.
- [5] PEREIRA, Ana Paula Soares. **Estudo das propriedades de meios adsorventes e filtrantes produzidos com material zeolítico em matriz polimérica**. Orientador: José Antônio da Silva Souza, Coorientadora: Carmen Gilda Barroso Tavares Dias. 2019 (no prelo). Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia - PRODERNA/ITEC), Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- [6] ZAKARIA, N. M Golam; RASHID, Kaosar; KHALED, Md Imran. Environmental pollution in Bangladesh by inland tanker operation. **Procedia Engineering**, v. 194, p. 330-336, 2017.
- [7] BAŠIĆ, Josip; DEGIULI, Nastia; DEJHALLA, Roko. Total resistance prediction of an intact and damaged tanker with flooded tanks in calm water. **Ocean Engineering**, v. 130, p. 83-91, 2017.
- [8] MUSA, Ahmed; EL DAMATTY, Ashraf. Effect of vessel base rotation on the seismic behaviour of conical shaped steel liquid storage tanks. **Engineering Structures**, v. 166, p. 454-471, 2018.
- [9] SVANBERG, Martin *et al.* Renewable methanol as a fuel for the shipping industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 1217-1228, 2018.
- [10] BENDER, Morgan Lizabeth *et al.* Effects of acute exposure to dispersed oil and burned oil residue on long-term survival, growth, and reproductive development in polar cod (*Boreogadus saida*). **Marine Environmental Research**, v. 140, p. 468-477, 2018.
- [11] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo originados em portos organizados, instalações portuárias ou terminais, dutos, plataformas, bem como suas respectivas instalações de apoio, e orienta a sua

elaboração. Resolução n. 398, de 11 de junho de 2008. Publicada no DOU n. 111, de 12 de junho de 2008, Seção 1, p. 101-104.

[12] LANZILLOTTA, Handerson Agnaldo de Almeida. **Árvores de decisão como ferramentas de apoio à resposta a derrames de óleo**. Orientadora: Márcia Marques Gomes. 2008. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental – Controle da Poluição) – Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

[13] GARCÍA-OLIVARES, Antonio *et al.* A system of containment to prevent oil spills from sunken tankers. **Science of the Total Environment**, v. 593-594, p. 242-252, 2017.

[14] SARI, Panikkassery Sasidharan *et al.* Effect of plasma modification of polyethylene on natural fibre composites prepared via rotational moulding. **Composites Part B: Engineering**, v. 177, p. 107344, 2019.

[15] CHAUDHARY, Bhavesh; RAMKUMAR, P. L.; ABHISHEK, Kumar. Material selection for rotational moulding process using grey relational analysis approach. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, p. 19224-19229, 2018.

[16] CHEN, Lanlan *et al.* Effects of thermo-oxidative aging on structure and low temperature impact performance of rotationally molded products. **Polymer Degradation and Stability**, v. 161, p. 150-156, 2019.

[17] GARG, Abhinav *et al.* Model predictive control of uni-axial rotational molding process. **Computers and Chemical Engineering**, v. 121, p. 306-316, 2019.

[18] RAMKUMAR, P. L. *et al.* Prediction of heating cycle time in rotational moulding. **Materials Today: Proceedings**, v. 2, p. 3212-3219, 2015.

[19] LIU, Shih-Jung; FU, Kwang-Hwa. Effect of enhancing fins on the heating/cooling efficiency of rotational molding and the molded product qualities. **Polymer Testing**, v. 27, p. 209-220, 2008.

[20] CRAMEZ, M. C.; OLIVEIRA, M. J.; CRAWFORD, R. J. Optimisation of rotational moulding of polyethylene by predicting antioxidant consumption. **Polymer Degradation and Stability**, v. 75, p. 321-327, 2002.

[21] GRECO, Antonio; MAFFEZZOLI, Alfonso; FORLEO, Stefania. Sintering of PLLA powders for rotational molding. **Thermochimica Acta**, v. 582, p. 59-67, 2014.

[22] GOMES, F. P. C.; THOMPSON, M. R. Nondestructive evaluation of sintering and degradation for rotational molded polyethylene. **Polymer Degradation and Stability**, v. 157, p. 34-43, 2018.

[23] OLIVEIRA, Maria Jovita; BOTELHO, Gabriela. Degradation of polyamide 11 in rotational moulding. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, p. 139-146, 2008.



- [24] ZOLLER, Agnes; MARCILLA, Antonio. Soft PVC foams: Study of the gelation, fusion, and foaming processes. II. Adipate, citrate and other types of plasticizers. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 122, p. 2981-2991, 2011.
- [25] LIU, Shih-Jung; PENG, Kang-Ming. Rotational molding of polycarbonate reinforced polyethylene composites: processing parameters and properties. **Polymer Engineering and Science**, v. 50, p. 1457-1465, 2010.
- [26] SARRABI, Salah; LACRAMPE, Marie-France; KRAWCZAK, Patricia. Phosphorous antioxidants against polypropylene thermal degradation during rotational molding-kinetic modeling. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 132, 2015.
- [27] SOUZA, Rochélia Silva; LIMA, Lígia Maria Ribeiro; SILVA, V. L. M. M. Adsorção de óleo diesel em sistema de leito diferencial com biomassa bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 123-126, 2011.
- [28] LEE, Ju Ha *et al.* Fabrication of superhydrophobic fibre and its application to selective oil spill removal. **Chemical Engineering Journal**, v. 289, p. 1-6, 2016.
- [29] DE TUESTA, Jose L. Diaz *et al.* Removal of Sudan IV from a simulated biphasic oily wastewater by using lipophilic carbon adsorbents. **Chemical Engineering Journal**, v. 347, p. 963-971, 2018.
- [30] SOUZA, Thielle Nayara Vieira de *et al.* H<sub>3</sub> PO<sub>4</sub>-activated carbons produced from açai stones and Brazil nut shells: removal of basic blue 26 dye from aqueous solutions by adsorption. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-15, 2019.
- [31] NOGUEIRA, Ana Karlla Magalhães; SANTANA, Antônio Cordeiro de; GARCIA, Wilnália Souza. A dinâmica do mercado de açai fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. **Ceres**, v. 60, n. 3, p. 324-331, 2013.
- [32] LIMA, Helena Teixeira de. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais (borra de açai e glicerol) na elaboração de biscoito**. Orientadora: Nadia Cristina Fernandes Corrêa. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
- [33] VALENTIM, Rachel *et al.* Composite based on biphasic calcium phosphate (HA/ $\beta$ -TCP) and nanocellulose from the Açai tegument. **Materials**, v. 11, p. 2213, 2018.
- [34] LUCAS, Bárbara Franco; ZAMBIAZI, Rui Carlos; COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. **LWT**, v. 98, p. 335-340, 2018.
- [35] MACIEL-SILVA, Francisco W.; MUSSATTO, Solange I.; FORSTER-CARNEIRO, Tânia. Integration of subcritical water pretreatment and anaerobic digestion technologies for valorization of açai processing industries residues. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1131-1142, 2019.

[36] ARAUJO, Rayanne O. et al. Low temperature sulfonation of acai stone biomass derived carbons as acid catalysts for esterification reactions. **Energy Conversion and Management**, v. 196, p. 821-830, 2019.

[37] MESQUITA, A. L. **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) da Amazônia para produção de ecopanel de partículas homogêneas de média densidade**. Orientador: Lênio José Guerreiro de Faria. 2013. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) - PRODERNA/ITEC, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

[38] MESQUITA, Antonio de Lima *et al.* Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea Mart.*) Fruit: a new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 644-651, 2018.

[39] SILVA, Sthefani dos Santos; SILVA, Geverson Façanha da; CASTRO, Denis de Freitas. Utilização de fibras do mesocarpo e caroço do açaí como componente de misturas areia-asfalto para a pavimentação na cidade de Manaus/AM. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 4, p. 0627-0633, 2017.

[40] OLIVEIRA, Johnatt Allan Rocha de. **Investigação das etapas para o processo de produção de etanol de segunda geração a partir da biomassa do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*)**. Orientador: Rubens Maciel Filho. 2014. 228 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

[41] MORAES, Guilherme Fábregas da Costa. **Avaliação por opções reais de uma planta de produção de energia elétrica a partir de biomassa do caroço de açaí**. Orientador: Leonardo Lima Gomes. 2016. 63 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2016

[42] PESSOA, José Dalton Cruz *et al.* Characterization of açaí (*E. oleracea*) fruits and its processing residues. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 1451-1460, 2010. .

[43] MARANHO, Álisson Sobrinho; PAIVA, Ary Vieira de. Produção de mudas de physocalymma scaberrimum em substratos compostos por diferentes porcentagens de resíduo orgânico de açaí. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 399-408, 2012.

[44] YU, Hang *et al.* Separation of oil-water emulsion and adsorption of Cu (II) on a chitosan-cellulose acetate-TiO<sub>2</sub> based membrane. **Chemosphere**, v. 235, p. 239-247, 2019.

[45] WYCOFF, Wei *et al.* Chemical and nutritional analysis of seeds from purple and white açaí (*Euterpe oleracea Mart.*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 41, p. 181-187, 2015.

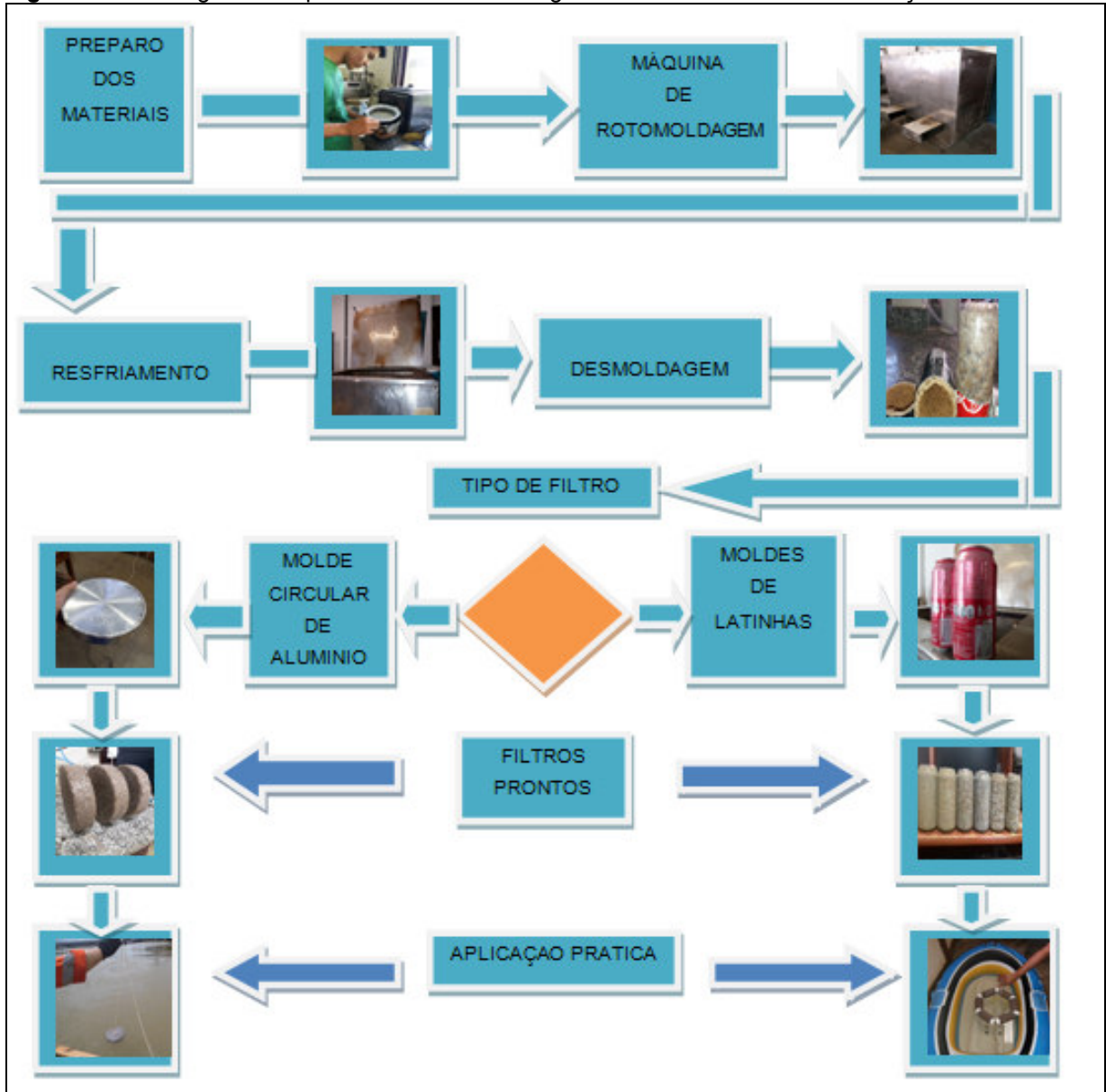
- [46] KOTELEV, M. S. *et al.* Investigation of the influence of conditions of reprecipitation of cellulose on its adsorption properties. **Chemistry and Technology of Fuels and Oils**, v. 53, n. 5, p. 722-726, 2017.
- [47] YANG, G.; SONG, J.; HOU, X.. Fabrication of highly hydrophobic two-component thermosetting polyurethane surfaces with silica nanoparticles. **Applied Surface Science**, v.439, n. 1, p. 772-779, 2018.
- [48] GAO, D. *et al.* Preparation of epoxy-acrylate copolymer/nano-silica via Pickering emulsion polymerization and its application as printing binder. **Applied Surface Science**, v. 435, n. 30, p. 195-202, 2018.
- [49] JAMWAL, Hem Suman *et al.* Silica-polymer hybrid materials as methylene blue adsorbents. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 1, p. 103-113, 2017.
- [50] PERES, E. C. *et al.* Microwave synthesis of silica nanoparticles and its application for methylene blue adsorption. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 649–659, 2018.
- [51] MANIQUET, A. *et al.* Behavior of macroporous vinyl silica and silica monolithic columns in high pressure gas chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1504, p. 105-111, 2017.
- [52] MAO, X. *et al.* Flow-through silica: A potential matrix for fast chromatographic enantioseparation with high enantioselectivity. **Talanta**, v. 178, p. 583-587, 2018.
- [53] SHAFQAT, Syed Salman *et al.* Development of amino-functionalized silica nanoparticles for efficient and rapid removal of COD from pre-treated palm oil effluent. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n.1, p. 385-395, 2019.
- [54] PARMAR, Kaushal R. *et al.* An ultra-light flexible aerogel-based on methane derived CNTs as a reinforcing agent in silica-CMC matrix for efficient oil adsorption. **Journal of Hazardous Materials**, v. 375, p. 206-215, 2019.
- [55] LIU, Ruochen *et al.* Inorganic microfiltration membranes incorporated with hydrophilic silica nanoparticles for oil-in-water emulsion separation. **Journal of Water Process Engineering**, v. 26, p. 124-130, 2018.
- [56] SAEONG, Potjanee *et al.* The response surface optimization of steryl glucosides removal in palm biodiesel using silica adsorption. **Fuel**, v. 191, p. 1-9, 2017.
- [57] SUN, Jichao *et al.* Molecular dynamics study on oil migration inside silica nanopore. **Chemical Physics Letters**, v. 678, p. 186-191, 2017.
- [58] STANDARD, A. S. T. M. F726 – 17: Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents for use on Crude Oil and Related Spills. **ASTM International: West Conshohocken, PA, USA**, 2019.

- [59] CRUZ, Sandra A. *et al.* Avaliação das propriedades reológicas de blendas de PEAD virgem/PEAD reciclado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 144-151, 2008.
- [60] SILVA, Rosa Laura Barra e. **Calotas rotomoldadas de polietileno reciclado**. Orientadora: Carmen Gilda Barroso Tavares Dias. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- [61] ZHANG, Fengrui *et al.* Methyl modified SiO<sub>2</sub> aerogel with tailored dual modal pore structure for adsorption of organic solvents. **Materials Letters**, v.238, p. 202–2052019
- [62] GAO, Jiefeng *et al.* Facile preparation of polymer microspheres and fibers with a hollow core and porous shell for oil adsorption and oil/water separation. **Applied Surface Science**, v. 439, p. 394–404, 2018.
- [63] ABDULLAH, M. A.; RAHMAH, Anisa Ur; MAN, Z. Physicochemical and sorption characteristics of Malaysian *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. as a natural oil sorbent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1-3, p. 683-691, 2010.
- [64] OMAR, Farah Nadia *et al.* Micromechanical modelling of oil palm empty fruit bunch fibres containing silica bodies. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 62, p. 106-118, 2016.
- [65] SANKAR, S. *et al.* Biogenerated silica nanoparticles synthesized from sticky, red, and brown rice husk ashes by a chemical method. **Ceramics International**, v. 42, n. 4, p. 4875-4885, 2016.
- [66] SILVA, Rolf Junior Ferreira; POTIGUARA, R. C. V. Substâncias ergásticas foliares de espécies amazônicas de *Oenocarpus* Mart. (Arecaceae): caracterização histoquímica e ultra-estrutural. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, 2009.
- [67] SANTOS, Maria Elizabeth Maués dos. **Regeneração de sílica biogênica a partir de mesocarpo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.** Orientadora: Carmen Gilda Barroso Tavares Dias. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- [68] SULAIMAN, Shaida Fariza *et al.* Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa* sp.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 1, p. 1-10, 2011.
- [69] SOUZA, Vanessa Rios de *et al.* Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 381-386, 2012.
- [70] PALLARDY, Stephen G. **Physiology of woody plants**. Academic Press, 3 ed. 2010.

[71] GORDON, André *et al.* Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açaí fruits (*Euterpe oleracea* Mart.) during ripening. **Food Chemistry**, v. 133, n. 2, p. 256-263, 2012.

## APÊNDICE A - Filtros obtidos por rotomoldagem (fluxograma)

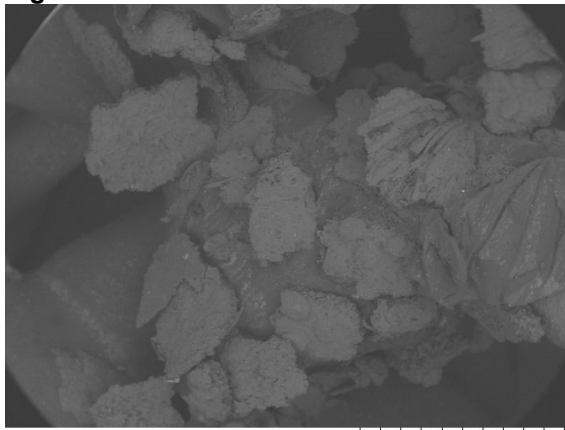
**Figura 45** – Fluxograma do processo de rotomoldagem de filtros e ensaios de adsorção



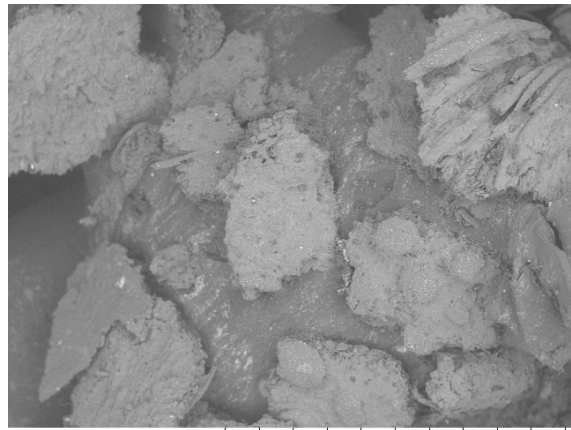
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

**APÊNDICE B – Insucessos de rotomoldagem****Figura 46 – Insucessos de rotomoldagem**

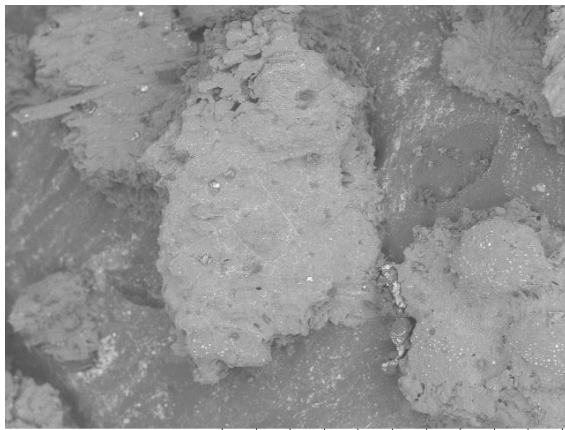
Fonte: Acervo do autor do trabalho.

**APÊNDICE C - Álbum de amostra de filtro****Figura 47 – MEV de amostras de filtro**

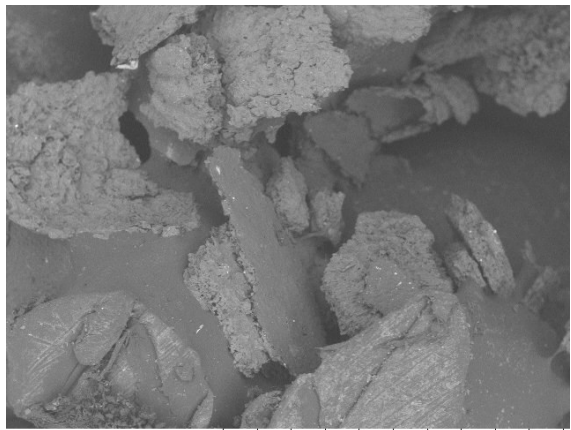
TM3000\_0012 2019/03/18 11:36 F D5.4 2 mm



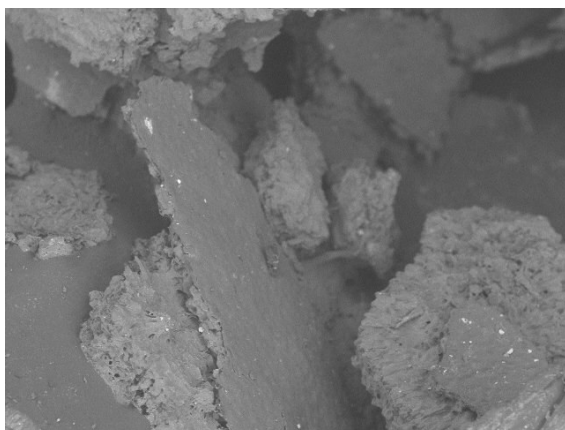
TM3000\_0013 2019/03/18 11:37 F D5.4 2 mm



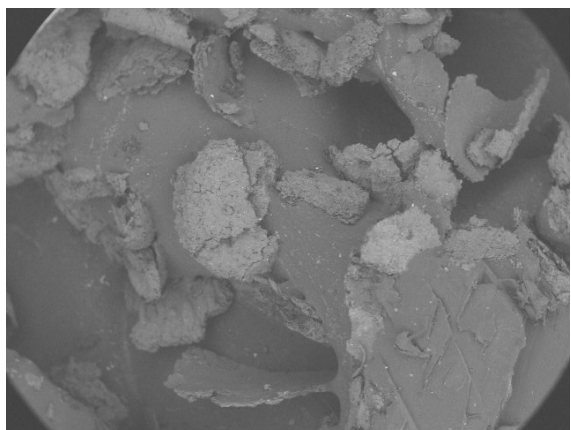
TM3000\_0014 2019/03/18 11:38 F D5.4 1 mm



TM3000\_0015 2019/03/18 11:40 F D5.4 2 mm

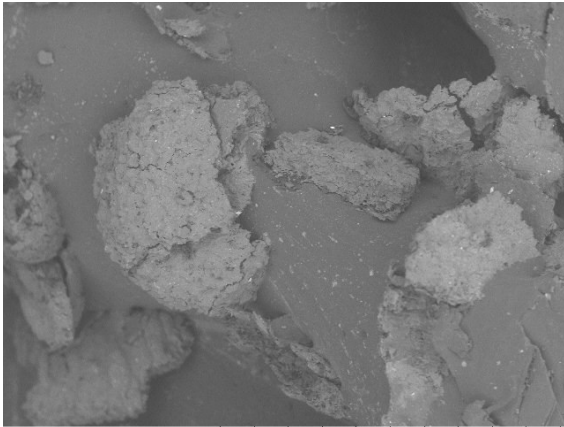


TM3000\_0016 2019/03/18 11:41 F D5.4 1 mm

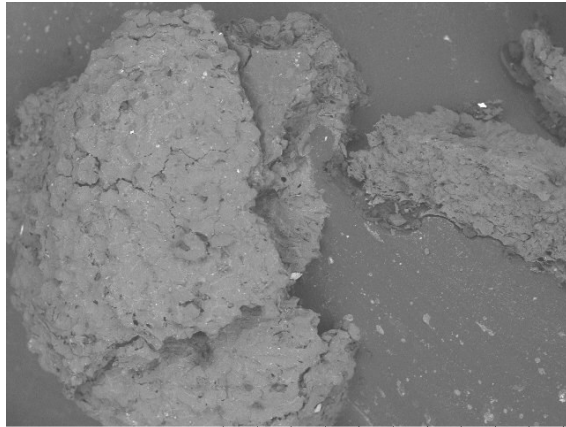


TM3000\_0017 2019/03/18 11:50 F D5.5 2 mm

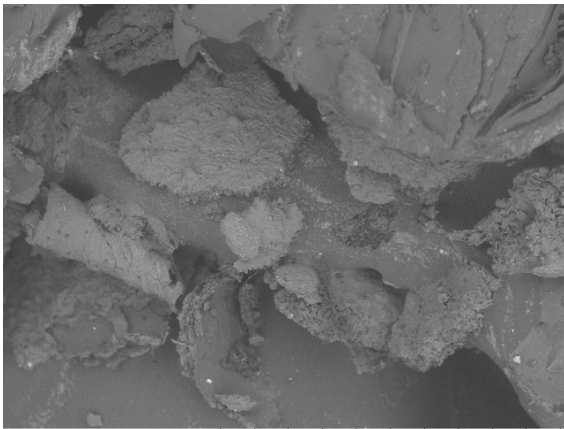




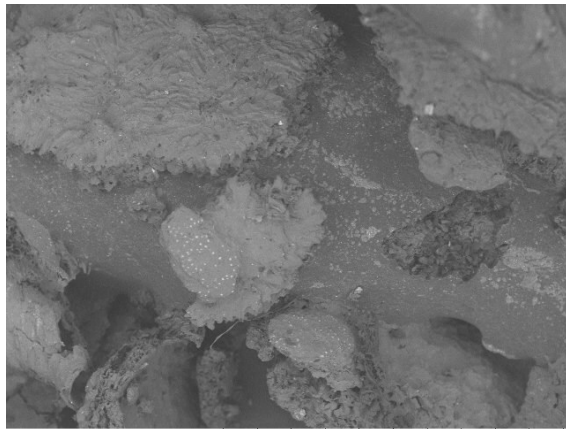
TM3000\_0018 2019/03/18 11:51 F D5.5 2 mm



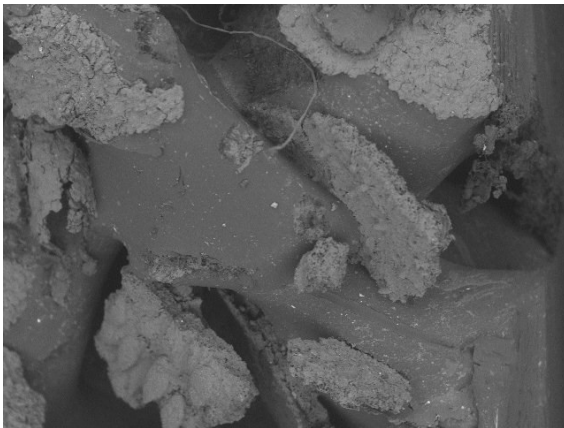
TM3000\_0019 2019/03/18 11:52 F D5.5 1 mm



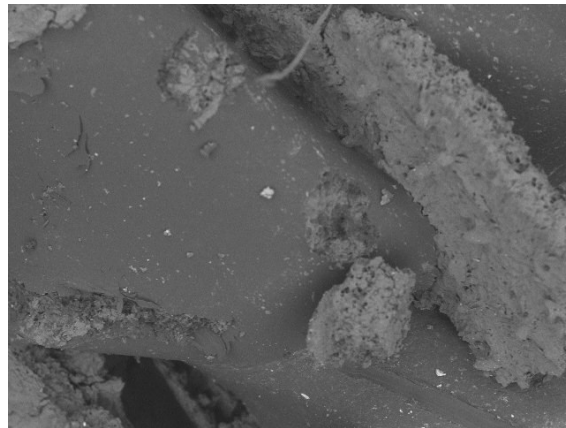
TM3000\_0020 2019/03/18 11:54 F D5.5 2 mm



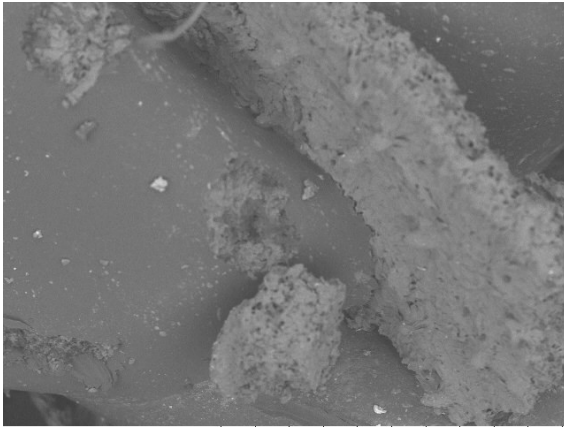
TM3000\_0021 2019/03/18 11:55 F D5.5 1 mm



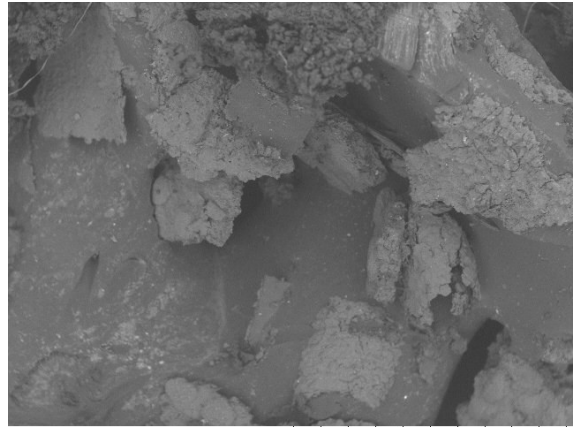
UFPA - LME0153 2019/03/29 15:00 F D5.3 x40 2 mm



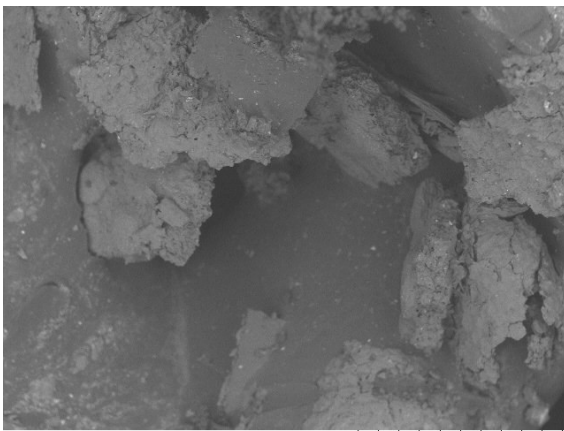
UFPA - LME0154 2019/03/29 15:01 F D5.3 x80 1 mm



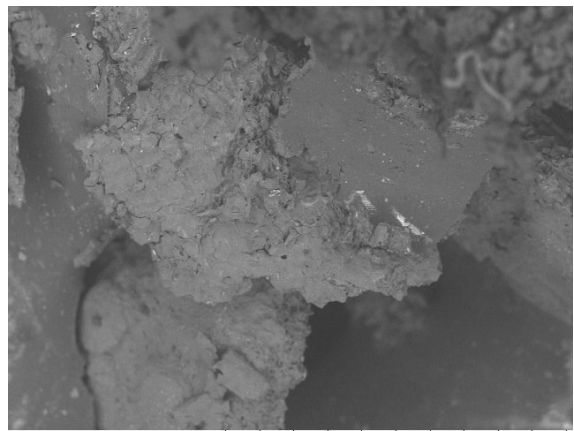
UFFA - LME0155 2019/03/29 15:02 F D5.3 x100 1 mm



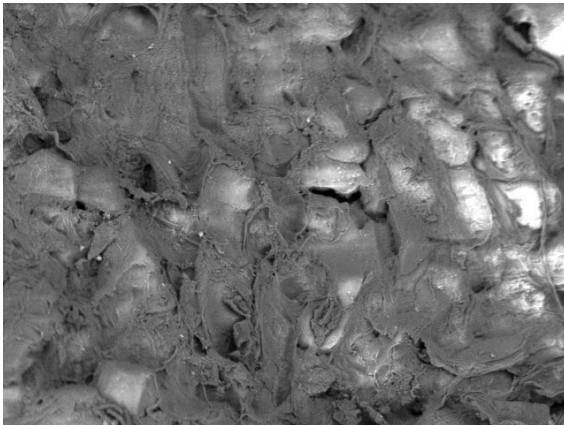
UFFA - LME0156 2019/03/29 15:05 F D5.3 x40 2 mm



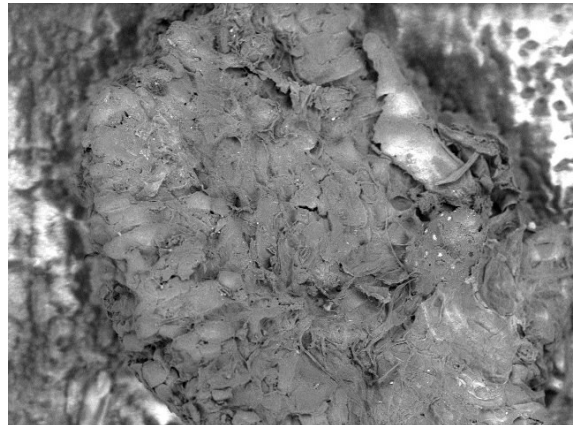
UFFA - LME0157 2019/03/29 15:08 F D5.3 x60 1 mm



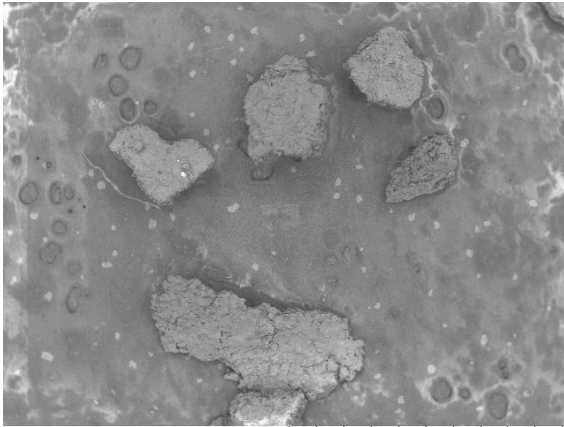
UFFA - LME0158 2019/03/29 15:09 F D5.3 x100 1 mm



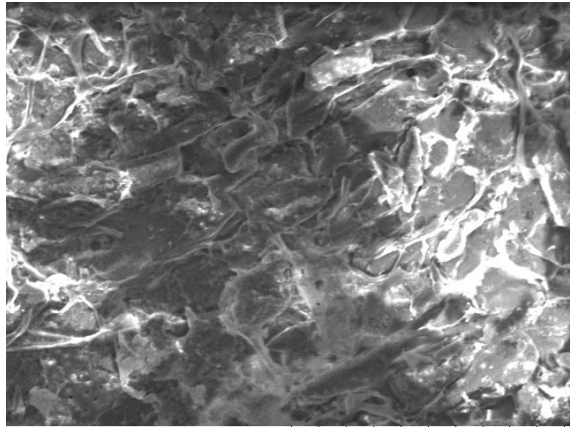
UFFA - LME0310 2019/04/25 10:12 F D4.4 x800 100 um



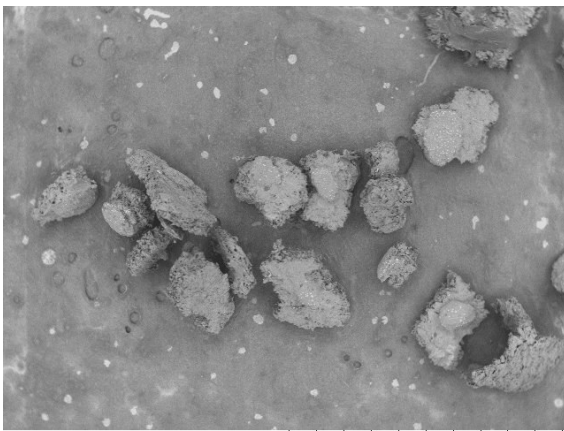
UFFA - LME0311 2019/04/25 10:15 F D4.4 x300 300 um



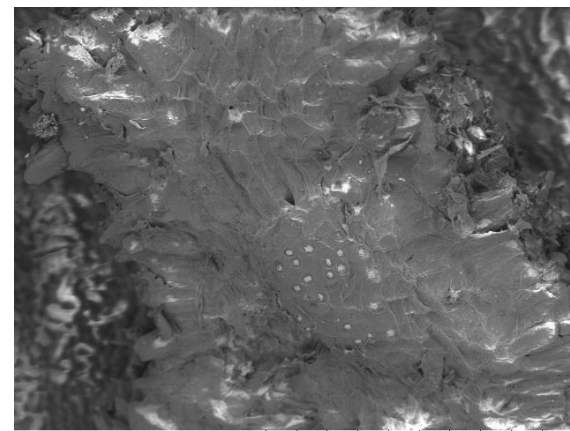
UFFA - LME0312 2019/04/25 10:18 F D4.7 x40 2 mm



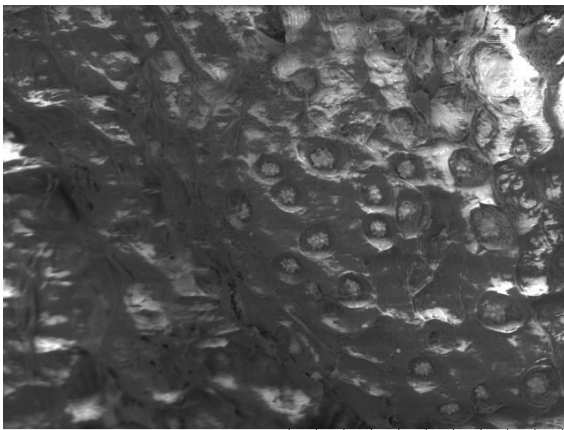
UFFA - LME0314 2019/04/25 10:38 N D7.9 x800 100 um



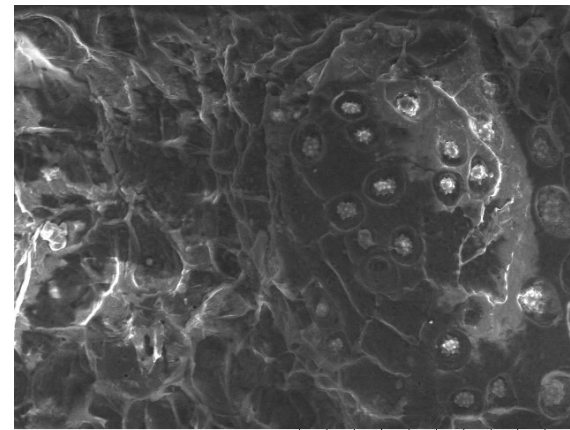
UFFA - LME0319 2019/04/25 11:52 F D4.4 x40 2 mm



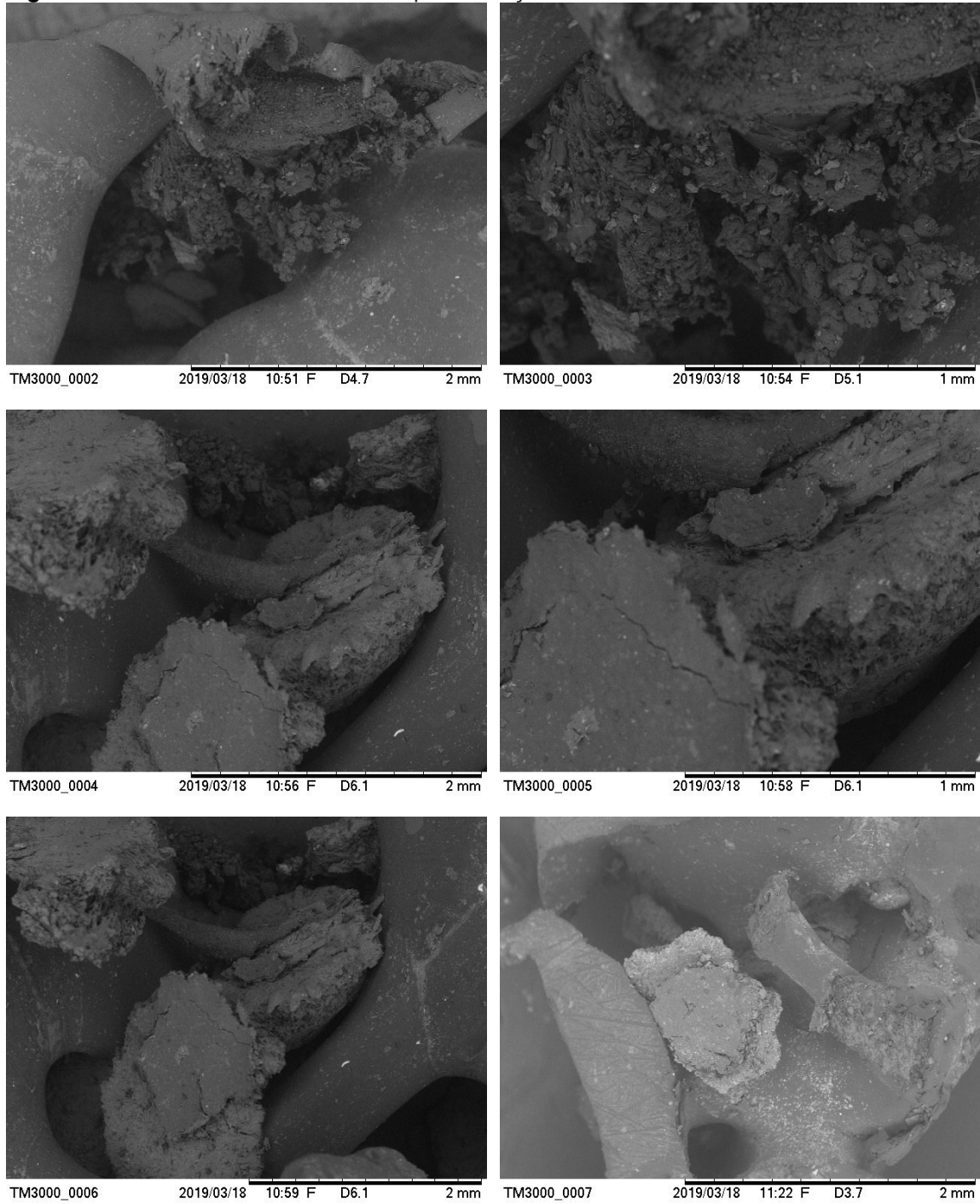
UFFA - LME0320 2019/04/25 11:54 F D4.1 x300 300 um

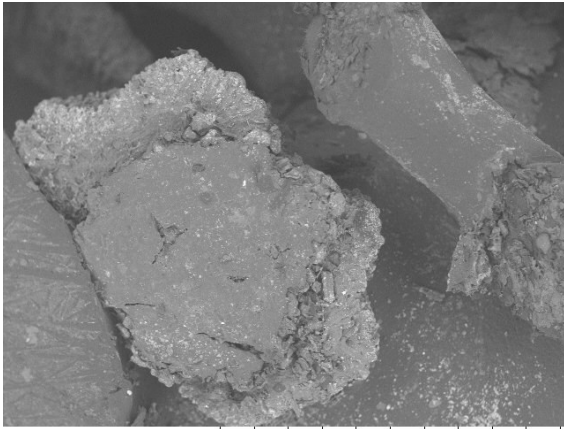


UFFA - LME0321 2019/04/25 11:56 F D4.1 x800 100 um

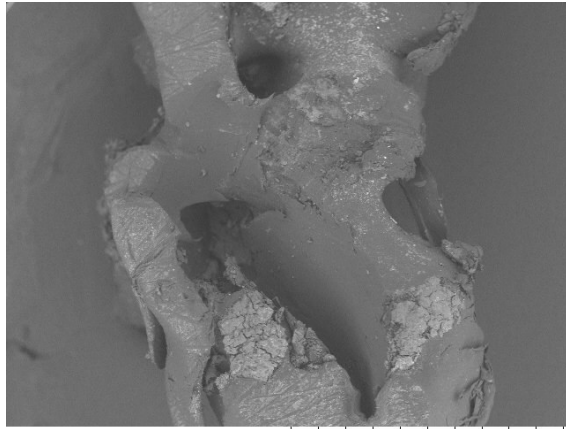


UFFA - LME0322 2019/04/25 12:05 N D8.3 x800 100 um

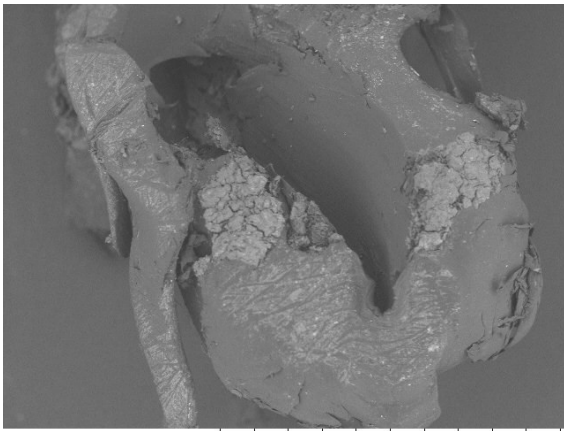
**APÊNDICE D - ÁLBUM DE AMOSTRA DE FILTRO APÓS ADSORÇÃO****Figura 48 – MEV de amostras de filtro após adsorção**



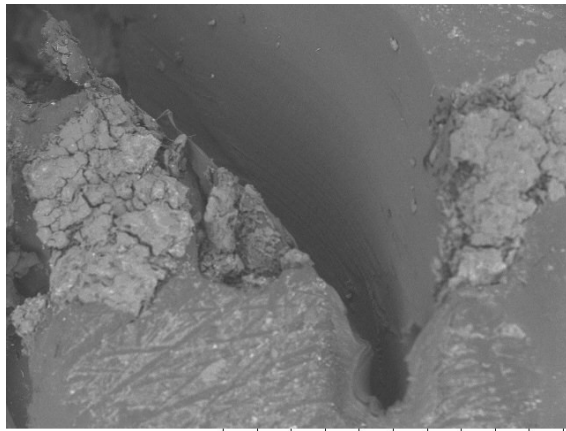
TM3000\_0008 2019/03/18 11:23 F D3.7 1 mm



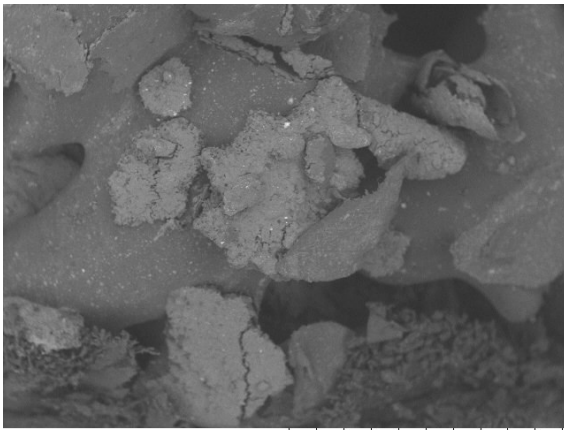
TM3000\_0009 2019/03/18 11:24 F D3.7 2 mm



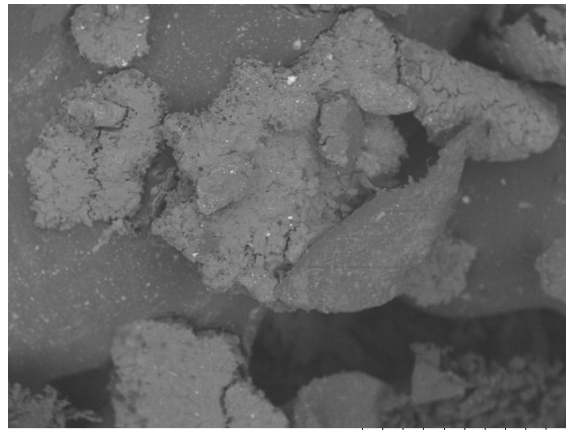
TM3000\_0010 2019/03/18 11:26 F D3.7 2 mm



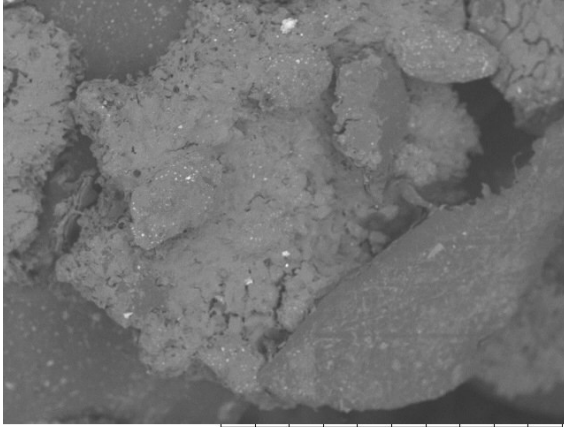
TM3000\_0011 2019/03/18 11:27 F D3.7 1 mm



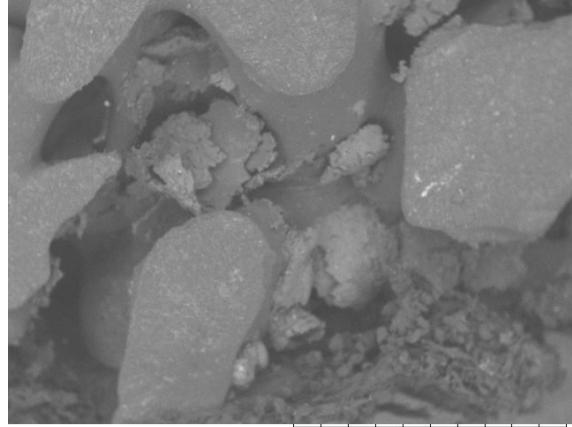
UFPA - LME0147 2019/03/29 14:32 F D4.3 x40 2 mm



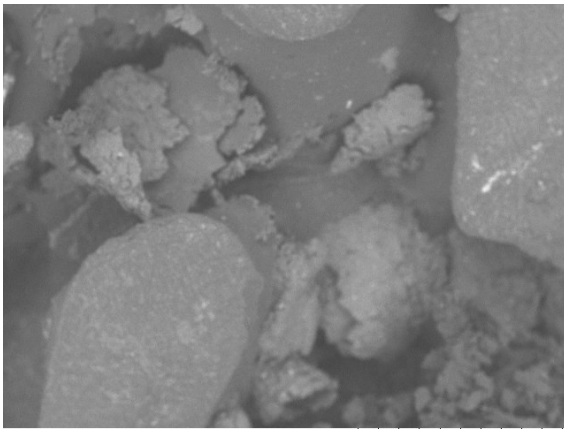
UFPA - LME0148 2019/03/29 14:34 F D4.3 x60 1 mm



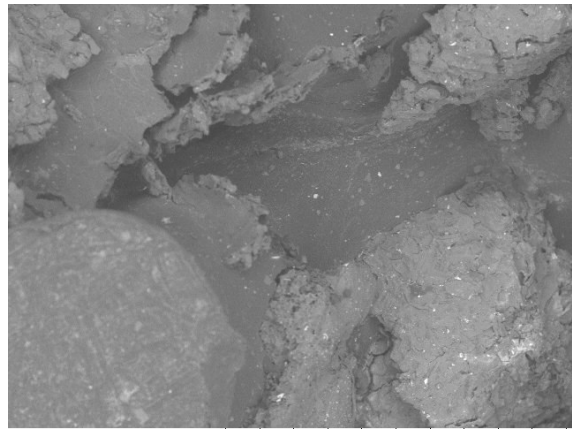
UFFA - LME0149 2019/03/29 14:36 F D4.3 x100 1 mm



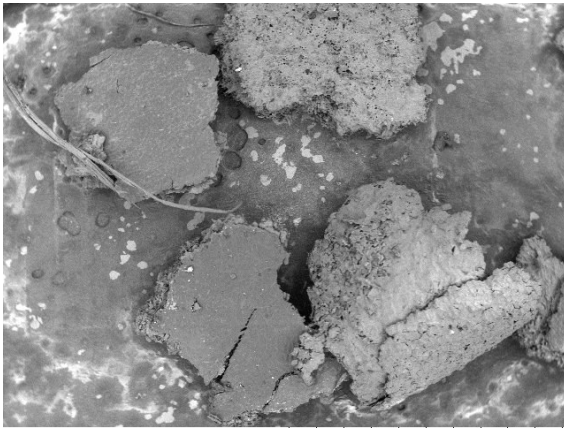
UFFA - LME0150 2019/03/29 14:41 F D4.3 x40 2 mm



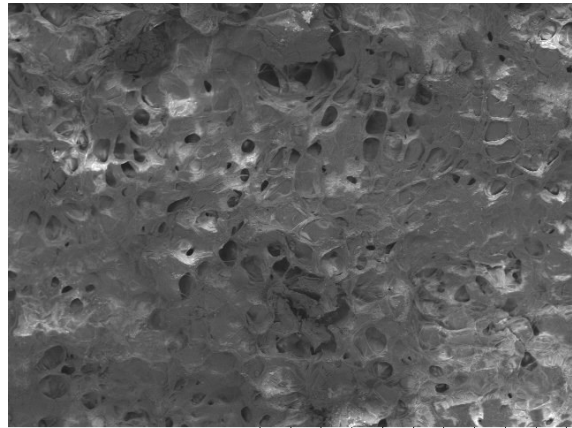
UFFA - LME0151 2019/03/29 14:42 F D4.3 x60 1 mm



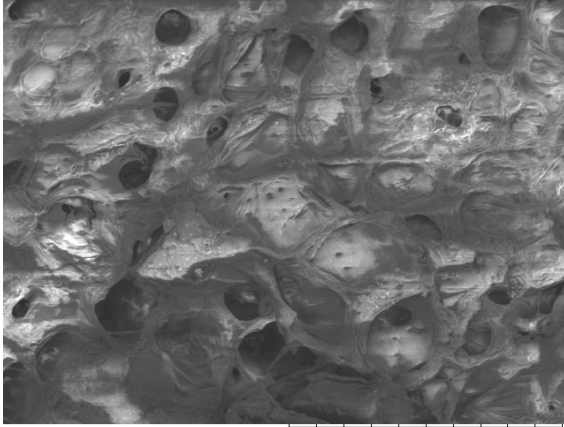
UFFA - LME0152 2019/03/29 14:44 F D6.2 x100 1 mm



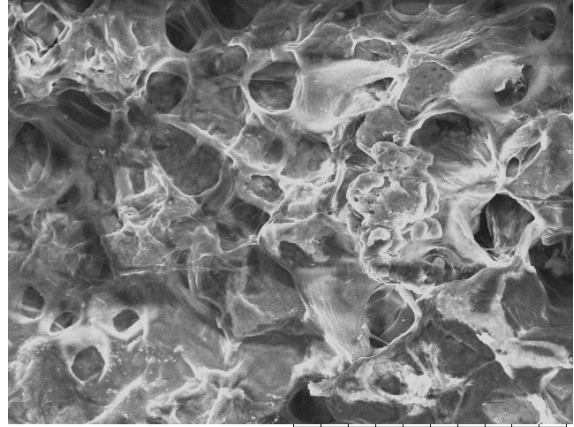
UFFA - LME0315 2019/04/25 11:05 F D4.8 x40 2 mm



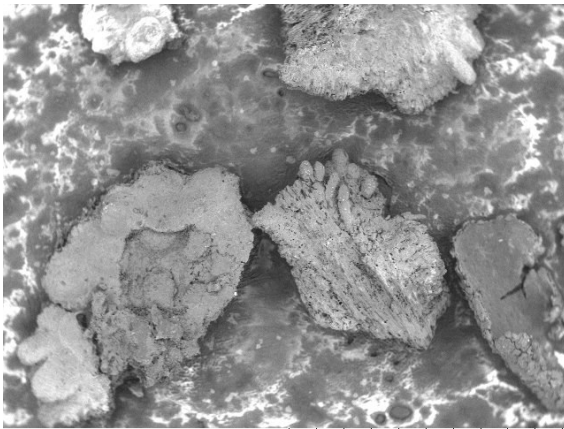
UFFA - LME0316 2019/04/25 11:10 F D4.5 x300 300 um



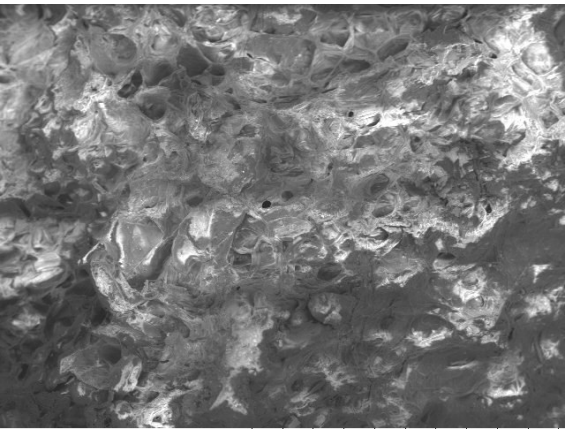
UFPA - LME0317 2019/04/25 11:12 F D4.5 x800 100 um



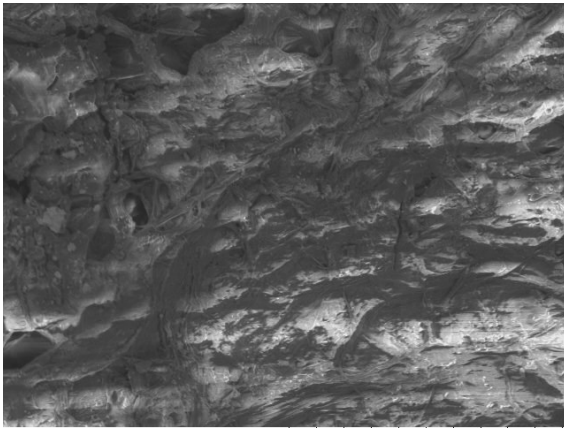
UFPA - LME0318 2019/04/25 11:23 N D8.1 x800 100 um



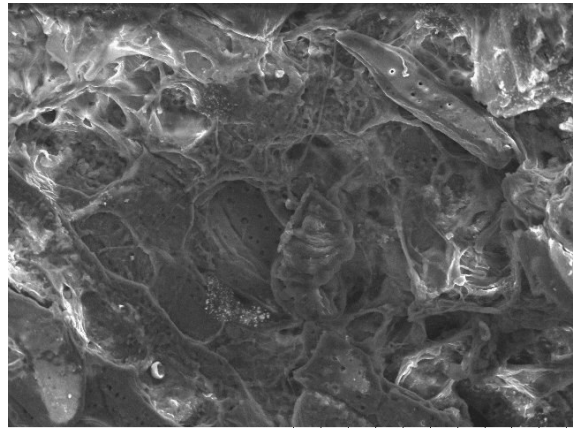
UFPA - LME0323 2019/04/25 12:46 F D4.3 x40 2 mm



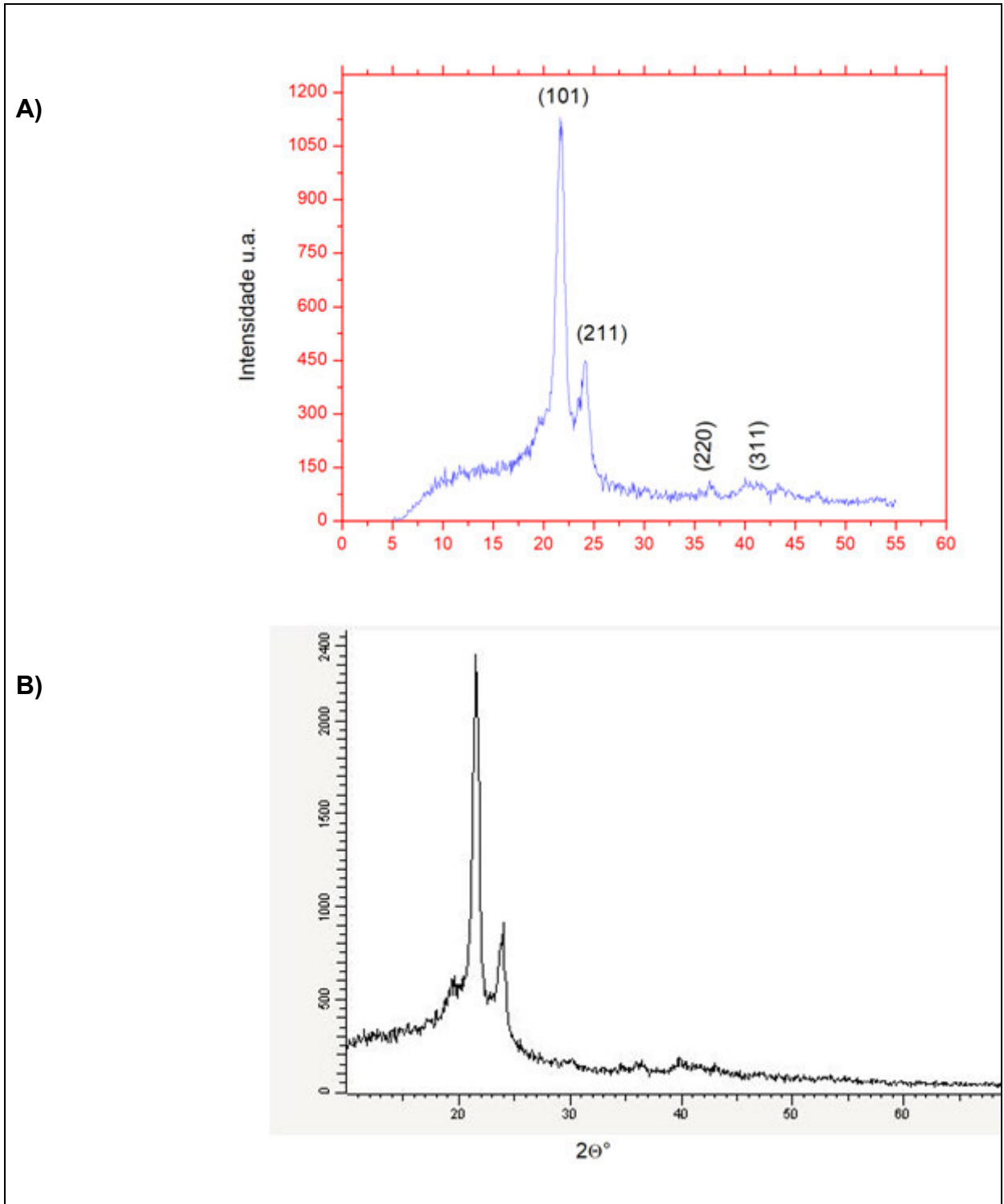
UFPA - LME0324 2019/04/25 12:50 F D4.1 x300 300 um



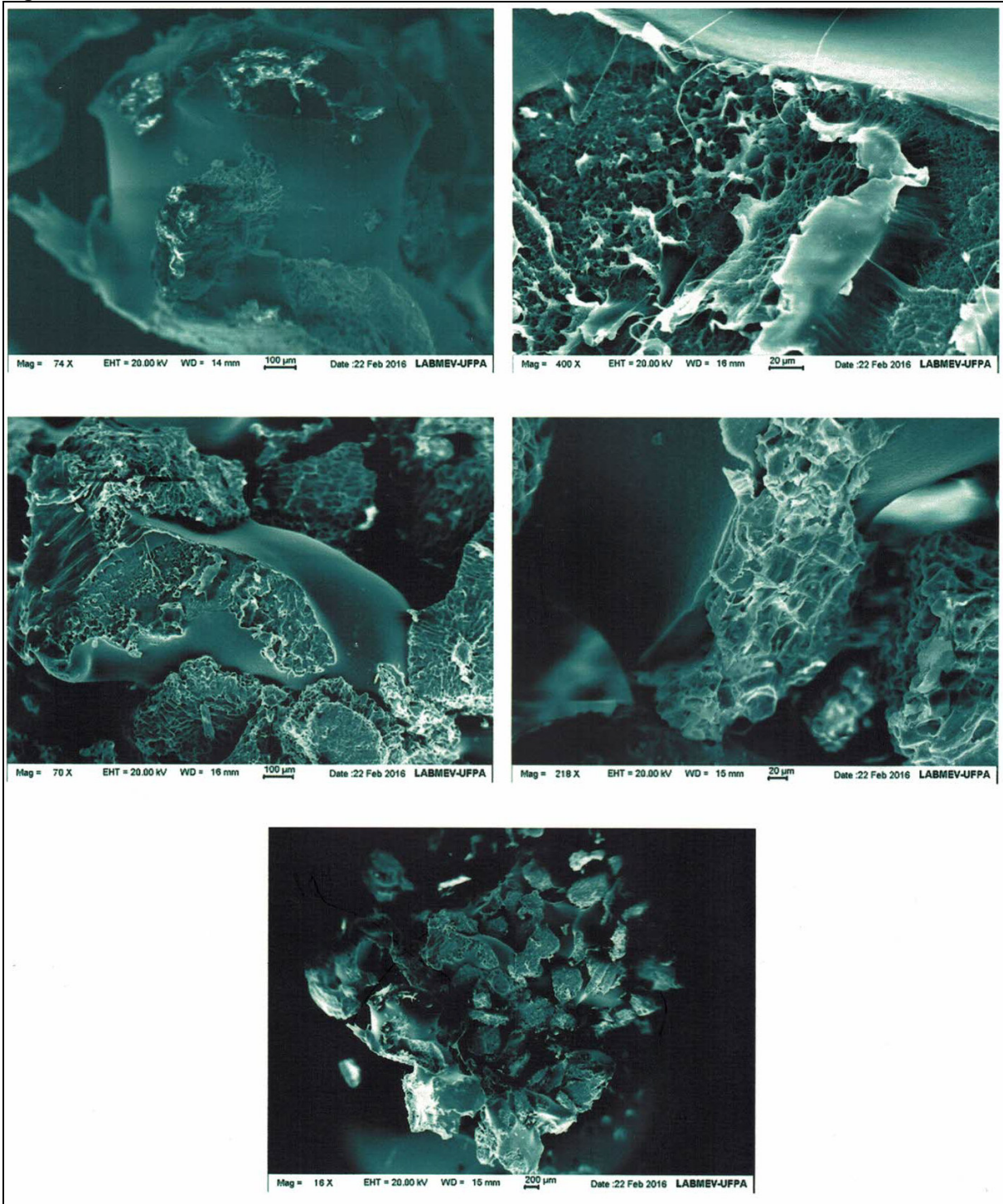
UFPA - LME0325 2019/04/25 12:54 F D4.2 x800 100 um



UFPA - LME0326 2019/04/25 13:05 N D7.9 x800 100 um

**APÊNDICE E – DRX de filtro****Gráfico 4 – A) DRX de filtro PEAD/PAM; B) DRX de filtro após adsorção**

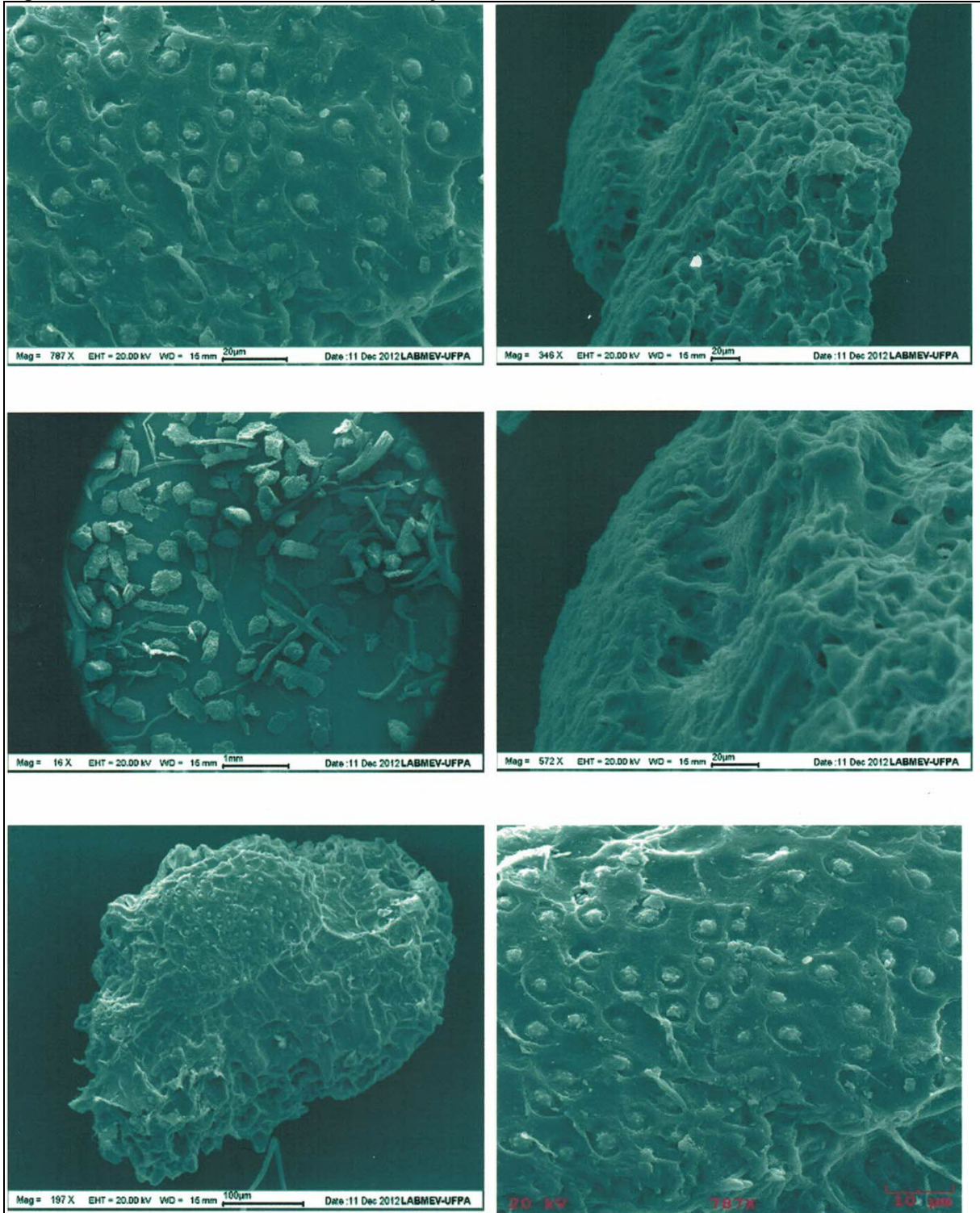


**ANEXO A – MEV de amostras de PEAD/borra rotomoldada****Figura 50 – MEV de amostras de PEAD/borra rotomoldada**

Fonte: PEREIRA (2019) [5]

## ANEXO B - Amostras MEV/borra

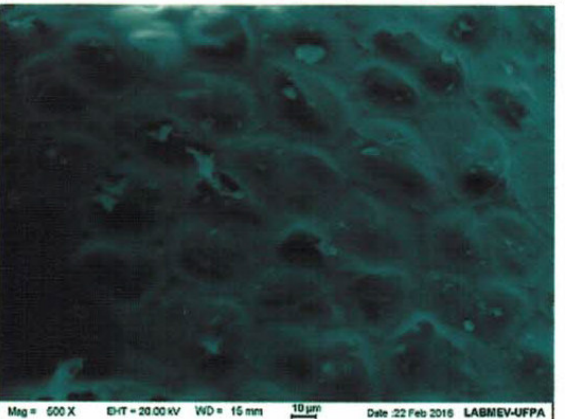
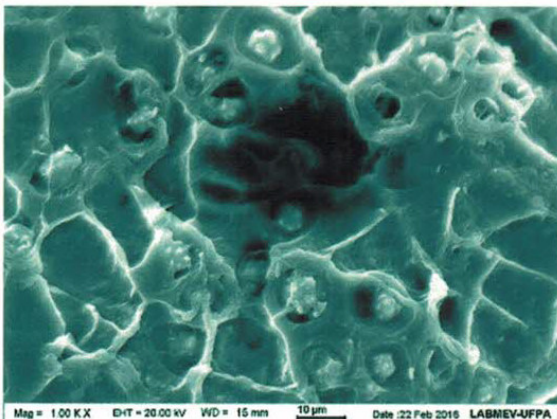
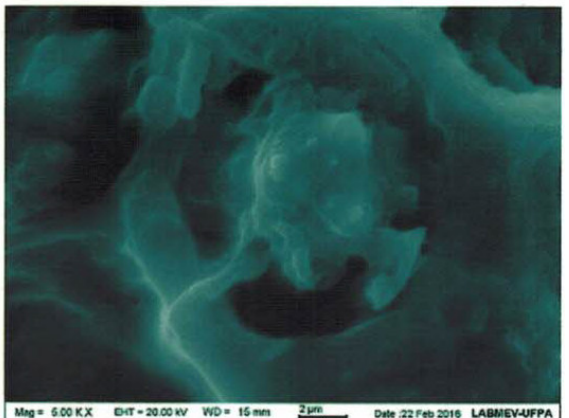
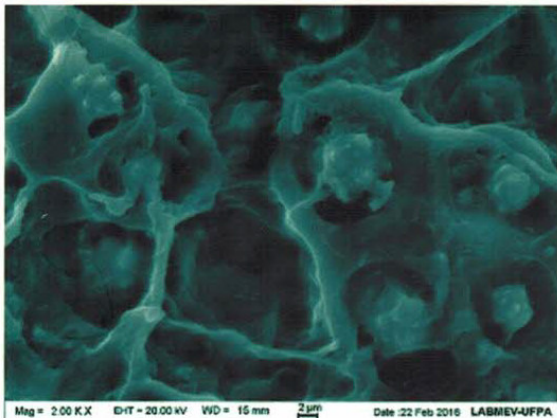
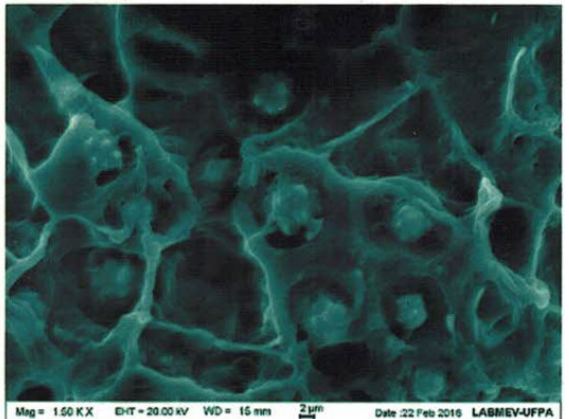
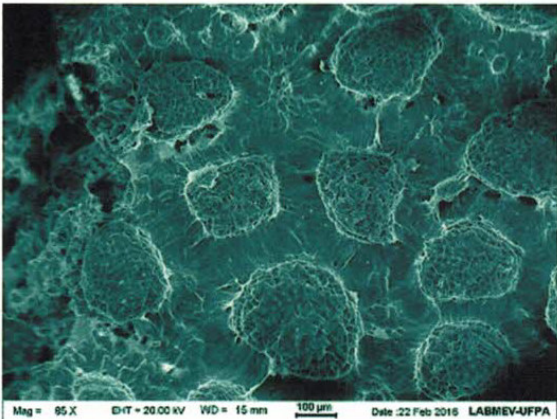
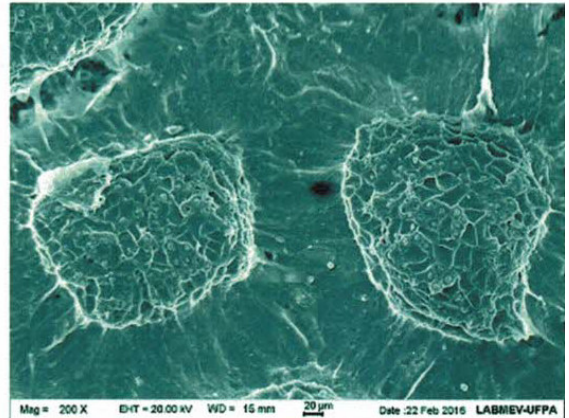
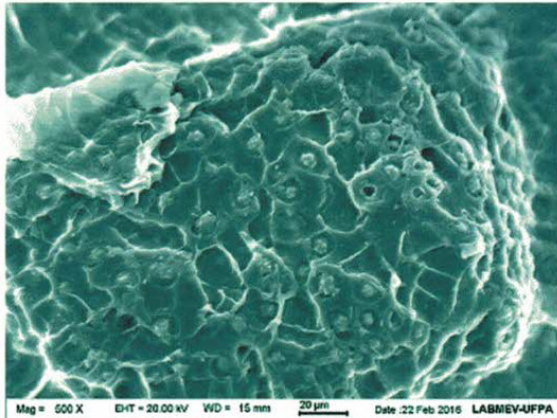
Figura 49 – MEV de amostras de borra de açaí



Fonte: PEREIRA (2019) [5]

### ANEXO C - MEV de amostras de borra lavada

Figura 50 – MEV de amostras de borra lavada



Fonte: PEREIRA (2019) [5]