

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**ROBERTA PAYE BARA**

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS SORVENTES ALTERNATIVOS PARA A  
LIMPEZA DE ÁGUAS CONTAMINADAS POR ÓLEOS**

**CURITIBA**

**2011**

**ROBERTA PAYE BARA**

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS SORVENTES ALTERNATIVOS PARA A  
LIMPEZA DE ÁGUAS CONTAMINADAS POR ÓLEOS**

Dissertação apresentada como requisito para obter o título de Mestre em Engenharia Mecânica do Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração Manufatura

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Thais Helena Sydenstricker Flores-Sahagun

**CURITIBA**

**2011**

Bara, Roberta Paye

Aplicação de materiais sorventes alternativos para a limpeza de águas contaminadas por óleos / Roberta Paye Bara. - Curitiba, 2011.

93 f. : il., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Thais Helena Sydenstricker Flores-Sahagun

1. Sorventes. 2. Água - Poluição. 3. Ecossistemas aquáticos. 4. Petróleo. I. Flores-Sahagun, Thais Helena Sydenstricker. II. Título.

CDD 628.162

## TERMO DE APROVAÇÃO

ROBERTA PAYE BARA


### APLICAÇÃO DE MATERIAIS SORVENTES ALTERNATIVOS PARA A LIMPEZA DE ÁGUAS CONTAMINADAS POR ÓLEOS


Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Mecânica, área de concentração Manufatura, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Nelson Consolin Filho  
UTFPR/CM

  
Prof. Dr. Adriano Scheid  
UFPR

  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Thaís Helena Sydenstricker Flores-Sahagun  
UFPR  
Presidente

  
Prof. Dr. Moacir kaminski  
UFPR

Curitiba, 30 de novembro de 2011.

Dedico este trabalho à minha querida mãe  
Franci, minha inspiração, meu exemplo,  
minha incentivadora, minha fortaleza!

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela saúde e pela força interior, necessárias para superar os obstáculos e realizar os sonhos.

À CAPES pela bolsa de estudos.

A PETROBRÁS pela doação do Petróleo.

Ao CNPQ pelo subsídio na aquisição de equipamentos utilizados nesta pesquisa.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - PGMEC da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realização deste trabalho.

À minha querida orientadora Professora Thaís Helena Sydenstricker Flores-Sahagun por todo o carinho e amizade, acima de tudo pela oportunidade de participar de seu grupo de pesquisa e por ter acreditado em meu trabalho. Agradeço a seu marido Hector pelas imagens e vídeos. E muito obrigada pela doação de pêlo de Poodle branco do seu cachorro Castor.

À minha amável mãe Franci Margarita Paye, meu eterno agradecimento por todo amor, dedicação e valores, que me guiam.

À minha querida irmã Renata Margarita Antoni que é a minha grande amiga e companheira, desde análises no final de semana até participação em congressos internacionais.

Ao meu querido pai, Elysio Djanir Gonçalves Bara falecido há 15 anos, cujas frases de otimismo carrego em meu coração.

Ao meu noivo Mauricio Siroma pelo carinho e atenção, presentes nas revisões em língua inglesa, discussões sobre a pesquisa, por todos os auxílios mecânicos e estruturais que muito ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa.

À Teoli Rodrigues Anunciado, por toda dedicação que sempre teve em dividir seu conhecimento, bem como pelo intermédio da visita técnica na Eletrosul-Eletróbrás (São José - SC) e disponibilização das amostras de óleo mineral isolante, provenientes da Eletrosul-Eletróbrás.

Ao colega Lucas Santos, sempre disposto a ajudar, por toda contribuição em solucionar minhas dúvidas.

Aos funcionários da Pet Shop ALFADOG, pela identificação das raças e doação do pêlo de cachorro de raças diversas.

À Elise Meister Sommer pela amizade e paciência em explicar os mais básicos conceitos, pelo companheirismo e pela amizade.

Ao professor Moacir Kaminski que sempre está disposto a ajudar e ensinar aqueles que buscam conhecimento. Agradeço pelo auxílio intelectual e estrutural nos testes de viscosidade e testes em coluna de vidro.

Agradeço aos professores Adriano Scheidt e Nelson Consolin Filho, pelas contribuições na elaboração do texto final.

À Mariana Carvalho Nascimento pela amizade e pelas discussões.

Ao Márcio, secretário do PGMEC, por todo o auxílio nas resoluções dos problemas administrativos.

À Professora Neide Kazue Kurumoto pelas conversas de incentivo e pela disponibilização do laboratório de Nanotecnologia para as análises de microscopia óptica.

Aos colegas de laboratório Felipe Jedyn e Alcenir Pablo, pela amizade e por toda ajuda na limpeza dos muitos utensílios utilizados nos testes.

A todos os funcionários do Centro de Microscopia Eletrônica - UFPR, pela ajuda na preparação das amostras e pelas imagens de microscopia eletrônica.

A Melissa Siroma, por sua generosidade em me ajudar mesmo nas horas mais impróprias.

À Lilian Côcco pelas análises cromatográficas junto ao LACAUT.

“O que eu faço, é uma gota no meio de um oceano. Mas sem ela, o oceano seria menor.”

(Madre Teresa de Calcutá)

## RESUMO

A contaminação de ecossistemas aquáticos por derramamento de óleos em grandes quantidades ou contaminação por óleos em pequenas concentrações ocorre em diversas situações e trazem grandes prejuízos ambientais e compromete a qualidade da água. Neste trabalho foram avaliados como materiais sorventes e filtros a paina (*Chorisia speciosa*), o pêlo branco de cachorro da raça poodle e uma mistura de pêlos de cachorro provenientes de amostras da tosa em pet-shop. A partir da fiação das fibras animais e vegetais foi possível confeccionar tapetes para facilitar a aplicação e manuseio das fibras durante os testes. Utilizando petróleo, óleo mineral isolante usado e água destilada foram realizados testes de sorção estática a seco ou testes de sorção dinâmica em meio aquoso ou em sistema hídrico simulado. O teor de óleo absorvido pelos sorventes em sistemas aquosos foi determinado utilizando a destilação de amostras, para contabilizar o teor de água retido juntamente com o óleo. Os ensaios em coluna de vidro foram analisados utilizando cromatografia para verificação da capacidade de limpeza dos filtros montados com os materiais sorventes. Imagens das fibras obtidas por microscopia eletrônica de varredura e microscopia óptica foram obtidas para a caracterização dos materiais. As amostras de paina obtiveram capacidade de limpeza superior em relação a todas as demais amostras. As amostras de tapete, provenientes de pêlo de cachorro da raça Poodle na cor branca e de paina, obtiveram resultados superiores aos de um sorvente comercial nos testes de sorção enquanto que as amostras confeccionadas com a mistura de pêlos de cachorro de raças diversas obtiveram resultados próximos aos deste sorvente comercial. Em testes em coluna de adsorção, foram utilizadas as fibras na forma livre com a mistura de 1:7 de petróleo para água destilada (aproximadamente 260ppm de óleo). A paina, o pêlo de poodle branco e pêlo de cachorro de raças diversas apresentaram resultados superiores aos do sorvente comercial, destacando-se os resultados da coluna com pêlo de cachorro de raças diversas que apresentou a menor concentração de saída de óleo igual a 9ppm.

**Palavras-chave:** Sorventes. Águas oleosas. Petróleo. Paina. Pêlo de cachorro. Filtros.

## ABSTRACT

The contamination of aquatic ecosystems caused by oil spills in big or small amounts occurs in different situations and brings great environmental damage, compromising water quality. In this work silk-floss (*Chorisia speciosa*), white dog fur of poodle breed and a mixture of hair samples from pet-shops waste were evaluated as sorbent materials and filters for oily water. The fibers were spun and carpets were made to facilitate the application and handling of the materials. Using oil and used mineral insulating oil, dry static sorption tests and dynamic sorption tests were performed in water or simulated stream systems. Oil intake by the fibers was investigated by distillation of samples to account the water content retained together with the oil. Tests on glass column were evaluated using chromatography to verify the cleaning ability of the filters made with the sorbent materials. Images of fibers obtained by electronic microscopy scanning and optical microscopy were obtained for the characterization of materials. The samples of silk-floss obtained superior cleaning ability if compared with all the other samples. The samples of carpets made with the white Poodle dog fur and silk-floss obtained superior results compared to a commercial sorbent, while the samples prepared by mixed dog hair breeds obtained closer results to the commercial sorbent. In the adsorption column test, it was used free form fibers in 1:7 proportion of oil in distilled water (nearly 260ppm of oil). The silk-floss, the white Poodle dog hair and the mixed dog hair showed better results if compared with the commercial sorbent material, highlighting the results of the mixed dog hair fibers column that showed the lowest oil concentration outside mixture, with 9ppm.

**Keywords:** Sorbent. Oily water. Oil. Floss-Silk Tree. Dog fur. Filters.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MORTE DE GOLFINHOS NO GOLFO DO MÉXICO VÍTIMA DO DERRAMAMENTO DO PETRÓLEO.....	23
FIGURA 2 - NOMENCLATURA DA ADSORÇÃO .....	26
FIGURA 3 - <i>CHORISIA SPECIOSA</i> .....	29
FIGURA 4 - ÁRVORE DA PAINEIRA (A) E GALHOS CUJO FRUTO MADURO EXPÕE A SEDA DA PAINEIRA (B) .....	30
FIGURA 5 - GALHO COM OS FRUTOS (A), FRUTO VERDE (B) E FRUTO MADURO COM A PAINA EXPOSTA (C) .....	30
FIGURA 6 - PÊLO DE CACHORRO .....	31
FIGURA 7 - DERIVADOS DE PETRÓLEO APÓS O REFINO (2007).....	32
FIGURA 8 - HIDROCICLONE .....	38
FIGURA 9 - TURFA NACIONAL .....	42
FIGURA 10 – AMOSTRAS DE PÊLO DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS .....	43
FIGURA 11 – ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO (A) E PETRÓLEO (B) .....	43
FIGURA 12 – SEPARAÇÃO DAS FIBRAS .....	45
FIGURA 13 - ORIENTAÇÃO DAS FIBRAS PARA FORMAÇÃO DO FIO .....	45
FIGURA 14 - FOI UTILIZADO UM SACO PLÁSTICO PARA AUXILIAR NA PRIMEIRA TORÇÃO DAS FIBRAS E ASSIM FACILITAR O PASSO SEGUINTE.....	45
FIGURA 15 - ENROLADO MANUALMENTE PARA FACILITAR A TORÇÃO.....	46
FIGURA 16 - TORÇÃO E FORMAÇÃO DO NOVELO .....	46
FIGURA 17 - BÉQUER COM PETRÓLEO AO LADO DA AMOSTRA (A), VÓRTEX GERADO PELA AGITAÇÃO (B), AMOSTRA APÓS A TORÇÃO (C) E SOLUÇÃO ÁGUA/ÓLEO APÓS A TORÇÃO (D).....	47
FIGURA 18 - ESQUEMA DE MONTAGEM PARA A DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA POR DESTILAÇÃO ASTM D95-83 (A), PORÇÃO DE ÁGUA RETIDA PELO COLETOR (B) E PORÇÃO DA AMOSTRA SENDO DESTILADA (C).....	49
FIGURA 19 - SISTEMA HÍDRICO SIMULADO .....	50
FIGURA 20 - MICROSCÓPIO ÓPTICO OLYMPUS MODELO BX51 .....	51
FIGURA 21 - MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA - JEOL .....	51
FIGURA 22 - RHEO-VISCOSÍMETRO.....	52
FIGURA 23 - COLUNAS DE PURIFICAÇÃO: PAINA (A), PÊLO DE POODLE BRANCO (B), PÊLO DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS (C) E TURFA (D).....	53

FIGURA 24 - AMOSTRAS DE PÊLO DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS (A), PÊLO DE POODLE BRANCO (B), PAINA (C), POLIPROPILENO EM FORMA DE MANTA (D) E REVESTIMENTO DE ALGODÃO (E) DA TURFA (F). .....	55
FIGURA 25 - MINI-BARREIRAS DE CONTENÇÃO: PAINA (A), PÊLO DE POODLE BRANCO (B), PÊLO MISTURADO (C) E TURFA COM REVESTIMENTO DE ALGODÃO (D) .....	56
FIGURA 26 - GRÁFICO: CAPACIDADE MÉDIA DE SORÇÃO SECA DE PETRÓLEO COM O TEMPO .....	58
FIGURA 27 - GRÁFICO: CAPACIDADE MÉDIA DE SORÇÃO DE ÓLEO MINERAL ISOLANTE COM O TEMPO.....	61
FIGURA 28 - AMOSTRAS APÓS A SORÇÃO DINÂMICA DO PETRÓLEO: PAINA (A), PÊLO DE POODLE BRANCO (B) E PÊLO DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS(C).....	62
FIGURA 29 - SORÇÃO TOTAL DAS AMOSTRAS CONSIDERANDO O DESVIO PADRÃO.....	63
FIGURA 30 - GRÁFICO: SORÇÃO DINÂMICA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO .....	65
FIGURA 31 - AMOSTRAS Nº: 150 (A), 154 (B), 160 (C) E 156 (D) .....	65
FIGURA 32 - AMOSTRAS DURANTE O TESTE NO SISTEMA HÍDRICO SIMULADO: PAINA (A), PÊLO DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS (B), POLIPROPILENO EM FORMA DE MANTA (C) E PÊLO DE POODLE BRANCO (D).....	69
FIGURA 33 - AMPLIAÇÃO 500X: PAINA (A), PÊLO DE POODLE BRANCO (B), PÊLO DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS (C) E POLIPROPILENO EM FORMA DE MANTA (D).....	70
FIGURA 34 – AMPLIAÇÃO 100X: AMOSTRA DE TAPETE DE PÊLO DE RAÇAS DIVERSAS (A), POODLE BRANCO (B), PAINA (C) E ALGODÃO (D).....	71
FIGURA 35 – MINI-BARREIRA: POODLE BRANCO COM PETRÓLEO, AMPLIAÇÃO 200X.....	71
FIGURA 36 - MINI-BARREIRA COM PETRÓLEO, AMPLIAÇÃO EM 200X: PÊLO DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS (A) E PAINA (B) .....	72
FIGURA 37 - MEV AMPLIAÇÃO 650X: PÊLO DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS (A) E PÊLO DE POODLE BRANCO (B) .....	73
FIGURA 38 - MEV AMPLIAÇÃO 650X: PAINA .....	73

FIGURA 39 - MEV AMPLIAÇÃO 4000X: PAINA (A) E POODLE BRANCO (B) .....	74
FIGURA 40 - AXIOVISION: DIÂMETRO DAS FIBRA DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS .....	75
FIGURA 41 - GRÁFICO: VISCOSIDADE DO PETRÓLEO .....	76
FIGURA 42 - GRÁFICO: VISCOSIDADE DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO	76
FIGURA 43 - FOTOS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) DAS FIBRAS DE <i>CHORISIA SPECIOSA</i> (A) AMPLIAÇÃO 80 X, FIBRA IN NATURA; (B) AMPLIAÇÃO 80 X, A FIBRA APÓS TER SORVIDO O ÓLEO; (C) AMPLIAÇÃO 500 X, FIBRA IN NATURA E (D) AMPLIAÇÃO 500 X, FIBRA APÓS TER SORVIDO O ÓLEO.....	77
FIGURA 44 - GRÁFICO: CURVA BREAKTHROUGH DOS RESULTADOS DA ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DO EFLUENTE COM PETRÓLEO .....	78

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - CAPACIDADE DE SORÇÃO EM COLUNA .....	29
EQUAÇÃO 2 - SORÇÃO TOTAL EM SOLUÇÃO COM ÁGUA.....	48
EQUAÇÃO 3 - VISCOSIDADE .....	52

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA DAS RAÇAS EM RELAÇÃO À MASSA TOTAL COLETADA. ....	55
TABELA 2 - CAPACIDADE DE SORÇÃO EM PETRÓLEO DE TAPETES FORMADOS COM FIOS DE PAINA .....	57
TABELA 3 - CAPACIDADE DE SORÇÃO EM PETRÓLEO DE TAPETES FORMADOS COM FIOS DE PÊLOS DE POODLE BRANCO.....	57
TABELA 4 CAPACIDADE DE SORÇÃO EM PETRÓLEO DE TAPETES FORMADOS COM FIOS DE PÊLOS DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS .....	57
TABELA 5 - CAPACIDADE DE SORÇÃO EM PETRÓLEO AMOSTRAS DE SORVENTE COMERCIAL EM FORMA DE MANTA .....	58
TABELA 6 - CAPACIDADE DE SORÇÃO DE AMOSTRAS DE TAPETES DE PAINA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE.....	59
TABELA 7 - CAPACIDADE DE SORÇÃO DE AMOSTRAS DE TAPETES DE PÊLOS DE POODLE BRANCO EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE .....	59
TABELA 8 - CAPACIDADE DE SORÇÃO DE AMOSTRAS DE TAPETES DE PÊLOS DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE .....	60
TABELA 9 - CAPACIDADE DE SORÇÃO DE AMOSTRAS DE SORVENTE COMERCIAL EM FORMA DE MANTA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE	60
TABELA 10 - MÉDIA DOS VALORES DE SORÇÃO PARA ENSAIO DINÂMICO COM PETRÓLEO. ....	62
TABELA 11 - SORÇÃO DINÂMICA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO	64
TABELA 12 - TEOR DE ÁGUA RETIDO NAS AMOSTRAS DURANTE O TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA UTILIZANDO PETRÓLEO .....	66
TABELA 13 - COMPARATIVO DOS RESULTADOS DE SORÇÃO TOTAL E TEOR DE ÁGUA RETIDO PELAS AMOSTRAS APÓS ENSAIOS COM PETRÓLEO.....	67
TABELA 14 - TEOR DE ÁGUA PRESENTE NAS AMOSTRAS APÓS O TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO.....	67

TABELA 15 - COMPARATIVO DOS RESULTADOS DE SORÇÃO TOTAL E TEOR DE ÁGUA RETIDO PELAS AMOSTRAS APÓS OS ENSAIOS COM ÓLEO MINERAL ISOLANTE.....	68
TABELA 16 - ANÁLISE DAS IMAGENS DE MEV UTILIZANDO O AXIOVISION .....	75
TABELA 17 - RESULTADOS DO TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM PETRÓLEO.....	92
TABELA 18 - RESULTADOS DO TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM OMI .....	93

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

°C	graus Celcius
€	Euro (moeda europeia)
Al	Alumínio
BP	British Petroleum
Btex	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
CG-MS	Cromatografia gasosa com espectrometria de massa
Cm	centímetro
CONAMA	Conselho nacional de meio ambiente
E°	grau Engler (viscosidade)
EUA	Estados Unidos da América
g	gramas (unidade de medida (peso))
HPLC	Cromatografia líquida de alta eficiência
ISA	Índice de Sensibilidade Ambiental
L	Litros
M	metro (unidade de medida de comprimento)
MEV	Microscopia Eletrônica de varredura
MMA	Ministério do meio ambiente
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
O	Oxigênio
OMI	Óleo Mineral Isolante
OMI	Organização Marítima Internacional
PAC	Fibra sintética Poliacrílicas
PHMB	Hidrocloreto de poli-hexametileno biguanida
PPM	partes por milhão
PU	poliuretano
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UV-VIS	Espectroscopia ultravioleta visível

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
1.1	TEMA	19
1.2	PROBLEMA	19
1.3	OBJETIVOS	20
1.4	METODOLOGIA	21
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>23</b>
2.1	CONTAMINAÇÃO DOS MEIOS AQUÁTICOS COM ÓLEOS	23
2.2	SORVENTES, ABSORÇÃO E ADSORÇÃO	26
2.3	ADSORÇÃO EM COLUNA DE VIDRO	28
2.4	FIBRAS NATURAIS	29
2.4.1	Paina	29
2.4.2	Pêlo de Cachorro	31
2.5	PETRÓLEO E DERIVADOS	31
2.5.1	Petróleo	32
2.5.2	Óleo Mineral Isolante	33
2.6	ENSAIO RASTREÁVEL DE HIDROCARBONETOS	33
2.6.1	Cromatografia	33
2.6.2	Ensaio com Ultravioleta Visível (Uv-Vis)	34
2.7	LIGAÇÕES DE PONTE DE HIDROGÊNIO	34
2.8	TRANSFERÊNCIA DE MASSA	35
2.9	ASPECTOS ECONÔMICOS	35
2.10	ESTADO DA ARTE	36
2.10.1	Plano de Contingência	36
2.10.2	Confecção de Tecido à Base de Pêlo de Cachorro	37
2.10.3	Tratamento de Águas Oleosas	37
2.10.4	Uso de Sorventes na Purificação de Águas Oleosas	39
<b>3</b>	<b>MATERIAIS</b>	<b>42</b>
3.1	FIBRAS	42
3.2	FIBRAS VEGETAIS: PAINA	42

3.3 FIBRAS ANIMAIS: PÊLO DE CACHORRO.....	42
3.4 ÓLEOS.....	43
<b>4 MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
4.1 COLETA E ESTATÍSTICA DOS PÊLOS DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS.....	44
4.2 CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS PARA OS TESTES DE SORÇÃO.....	44
4.3 TESTE DE SORÇÃO SECA EM PETRÓLEO.....	46
4.4 TESTE DE SORÇÃO SECA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE.....	47
4.5 TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM PETRÓLEO.....	47
4.6 TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO .....	48
4.7 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA RETIDO PELAS AMOSTRAS.....	48
4.8 SISTEMA HÍDRICO SIMULADO.....	49
4.9 MICROSCOPIA.....	50
4.9.1 Óptica.....	50
4.9.2 Eletrônica de Varredura.....	51
4.10 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE VISCOSIDADE.....	52
4.11 ENSAIO EM COLUNA DE VIDRO.....	53
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>55</b>
5.1 COLETA E ESTATÍSTICA DOS PÊLOS DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS.....	55
5.2 CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS PARA OS TESTES DE SORÇÃO.....	55
5.3 TESTE DE SORÇÃO SECA EM PETRÓLEO.....	56
5.4 TESTE DE SORÇÃO SECA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO.....	59
5.5 TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM PETRÓLEO.....	61
5.6 TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO .....	63
5.7 TEOR DE ÁGUA RETIDO NAS AMOSTRAS.....	66
5.8 SISTEMA HÍDRICO SIMULADO.....	68
5.9 MICROSCOPIA.....	70
5.9.1 Óptica.....	70
5.9.2 Eletrônica de Varredura.....	72
5.10 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE VISCOSIDADE.....	76

5.11 ENSAIO EM COLUNA DE VIDRO.....	78
<b>6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES .....</b>	<b>80</b>
6.1 CONCLUSÃO .....	80
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nesta introdução são apresentados o tema e a definição do problema a ser resolvido nesta dissertação e sua relevância. São descritos os objetivos e a metodologia adotada, finalizando com a estrutura da dissertação.

### 1.1 TEMA

Aplicação de materiais sorventes alternativos para a limpeza de águas contaminadas por óleos. Avaliação da capacidade de limpeza das fibras de paina (fibra proveniente da semente da paineira) e pêlo de cachorro.

### 1.2 PROBLEMA

A poluição de meios aquáticos com óleos pode ocorrer no tratamento de efluentes ou em acidentes por falhas operacionais ou mecânicas. Derramamentos podem ocorrer durante a extração, refino, transporte ou no armazenamento de óleos. No período de 1974 até 2000 foram registradas 232 ocorrências de liberação de petróleo no mar só no litoral do estado de São Paulo. Recentemente, houve o acidente com a British Petroleum em abril de 2010 na plataforma de extração da Deepwater Horizon que afundou no Golfo do México em 22 de abril de 2010 e lançou no mar cerca de 5 mil barris de petróleo por dia até o dia 4 de setembro de 2010, o que gerou a maior maré negra da história (BARA *et al*, 2010). Ou ainda, em acidentes em menor escala como em fevereiro de 2011, onde um acidente rodoviário com um caminhão que transportava óleo lubrificante, resultou na interrupção de abastecimento de água por 5 dias na cidade de Cascavel no Paraná (BOM DIA PARANÁ, 2011).

Devido à diferença de densidade, o óleo gera um filme insolúvel que diminui a luminosidade e a aeração quando derramado em água. A dificuldade na degradação, por exemplo do petróleo sem a presença de agentes surfactantes, prejudica a remoção quando em contato com animais, plantas e sedimentos, e conseqüentemente, prejudica a economia e o meio ambiente (PEDROZO *et al*, 2002). Por outro lado, a evaporação dos resíduos contribui para a contaminação da atmosfera e portanto, é outro passivo ambiental (SONG *et al*, 2011).

Sorventes (do latim “sorbere”) são materiais que em contato com líquido têm a capacidade de agregá-lo à sua superfície (SCHEER, 2002). Um material sorvente

poderá apresentar mecanismos de absorção e adsorção (referente ao capítulo 2.2 SORVENTES, ABSORÇÃO E ADSORÇÃO), que podem atuar separadamente ou em conjunto.

Em estudos sobre a capacidade de limpeza de águas oleosas utilizando materiais sorventes alternativos, foram detectados resultados superiores aos obtidos com sorventes comerciais, destacando-se a paina na forma natural em testes de sorção e o pêlo de poodle branco na forma natural em testes de coluna de vidro (ANNUNCIADO *et al*, 2005; SANTOS, 2008; PEROTTA, 2009; SYDENSTRICKER, 2005; SYDENSTRICKER, 2009).

Neste trabalho foram utilizadas fibras naturais de origem animal ou vegetal para confecção das amostras e um material sorvente comercial, para efeito de comparação do desempenho dos materiais para limpeza de águas oleosas. Testes foram realizados para verificar a capacidade de sorção de óleo de cada amostra e também, foram confeccionados fios com os materiais estudados, a fim de facilitar sua aplicação.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a capacidade de sorção/retenção de óleos, como o (petróleo e óleo mineral isolante) utilizando fibras naturais (paina, pêlo de Poodle ou pêlo de cachorros de diversas raças) atualmente descartadas e avaliar a capacidade de limpeza dessas fibras na forma de filtros para águas oleosas.

Os objetivos específicos são:

- a. Testar a paina, o pêlo de Poodle ou de cachorros de diversas raças como materiais sorventes em sistemas contendo ou não água;
- b. Desenvolver uma forma de fiação dos materiais naturais selecionados, confeccionar e otimizar a tecelagem de tapetes obtidos com os fios preparados;
- c. Testar a capacidade de sorção e retenção dos materiais naturais em forma de tapete;
- d. Obter produto(s) sorvente alternativo de baixo custo, para limpeza de águas oleosas com desempenho superior ou igual ao de materiais sorventes comerciais;

- e. Testar os materiais selecionados na forma de filtros para testar sua capacidade de limpeza de águas oleosas.

#### 1.4 METODOLOGIA

A metodologia científica destina-se à apresentação dos caminhos, instrumentos e procedimentos utilizados para realizar uma pesquisa científica (TEIXEIRA, 2005).

Em função da dificuldade em se utilizar as fibras em sua forma natural, primeiramente foi elaborada uma forma de confecção das amostras a partir da fiação manual. Para verificar a capacidade de sorção de óleo pelos materiais selecionados, foram realizados ensaios em bancada em soluções com e sem água. Nos testes com água, foi realizada uma agitação do sistema óleo/água para simular o ambiente real onde ocorrem contaminações. Desta forma, tentou-se eliminar o fator posição da amostra em relação ao meio para determinação da capacidade de sorção de óleo de cada amostra.

#### 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada da seguinte maneira:

A seção 1 descreve o Tema, o problema gerador, seguido dos objetivos do trabalho e a metodologia da pesquisa.

A seção 2 fornece um breve relato de acidentes com óleos em meios aquáticos. Foi feita uma descrição de definições e das características necessárias para obtenção de resultados significativos na descontaminação, bem como os fatores físicos e químicos associados aos materiais sorventes e aos contaminantes. Em seguida foi descrito o estado da arte, com trabalhos atuais realizados em áreas relacionadas com a desta dissertação, mostrando o que foi feito e concluído por vários autores. Com isso são apresentados os atuais desafios existentes e dentre esses, os que serão objetivo desta dissertação.

Na seção 3 são descritos os materiais utilizados nesta pesquisa.

A seção 4 descreve-se o aparato experimental e os testes realizados para a avaliação da aplicabilidade dos materiais como agentes auxiliares na descontaminação de água oleosa.

Na seção 5 são apresentados os resultados e é feita uma discussão.

Por fim, a seção 6, são apresentadas as conclusões obtidas com o desenvolvimento deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONTAMINAÇÃO DOS MEIOS AQUÁTICOS COM ÓLEOS

A água é um dos recursos naturais intensamente utilizados no mundo. É fundamental para a existência e manutenção da vida e, para isso, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade adequadas. Inúmeras são as previsões relativas à sua escassez (SANTOS *et al.*, 2007). O homem usa a água não só para suprir suas necessidades humanas, mas também para outros fins, como irrigação, geração de energia, navegação, diluição de despejos e exploração e produções industriais. Atualmente existe, em todo o mundo, uma grande preocupação com a água, não só por causa de sua escassez em algumas regiões, mas também por causa de processos constantes de poluição aos quais ela é submetida (SANTOS *et al.*, 2008).

A poluição das águas por óleos representa um percentual elevado nos problemas por contaminantes orgânicos uma vez que os combustíveis fósseis, como o petróleo e seus subprodutos, prejudicam a aeração e a iluminação natural de cursos d'água, devido à formação de um filme insolúvel na superfície, produzindo efeitos nocivos na fauna e flora (SHENKMANN; STOKSTAD, 2010), além de aumentar os níveis de ozônio e afetar a qualidade do ar (SONG *et al.*, 2011). Como é possível verificar na FIGURA 1.



FIGURA 1 - Morte de golfinhos no Golfo do México vítima do derramamento do petróleo

Fonte: SHENKMANN; STOKSTAD, 2010

Vários acidentes com derramamento de petróleo em meio aquático ocorrem freqüentemente seja por acidentes envolvendo navios petroleiros (colisões,

navrágio e encalhes), ou problemas na plataforma marítima de extração, ou ainda de qualquer navio ou embarcação, já que todos utilizam óleo combustível como fonte de propulsão (LIMA *et al*, 2008).

Registros contabilizam que 3,2 milhões de toneladas de petróleo contaminam os meios aquáticos todos os anos. O navio petroleiro Exxon Valdez em 1989 contaminou o Alasca com 42 milhões de litros de Petróleo (PEDROZO *et al*, 2002; SHARIFI *et al*, 2010). O mais recente acidente é o da plataforma de extração da Deepwater Horizon que afundou no Golfo do México em 22 de abril de 2010 e lançou no mar cerca de 5 mil barris de petróleo por dia, sendo que em 17 de julho a empresa anunciou ter estancado temporariamente o derrame de petróleo do poço e somente em 20 de setembro do mesmo ano, a BP selou o poço de petróleo no Golfo do México (VIOTTO, 2010; EURONEWS, 2010).

No Brasil, contabilizando somente os acidentes envolvendo o transporte marítimo de petróleo no Canal de São Sebastião localizado no litoral norte de São Paulo, foram registrados 338 acidentes no período de 1978 a 2007 (LIMA *et al*, 2008). Em 2011, após problemas durante a perfuração de poço de produção no Campo de Frade, no Rio de Janeiro, a empresa Chevron foi responsável pela liberação de 381,6mil litros de petróleo em alto mar, na região denominada de Bacia de Campos (LUNA, 2011).

O derrame de poucos gramas de óleo acarreta na inutilização de dezenas, ou até centenas, de metros cúbicos de água para consumo humano. No ano de 2000, o rompimento de um duto da Petrobrás na Refinaria Duque de Caxias, provocou um vazamento de 1,3 milhões de óleo combustível na Baía de Guanabara, este óleo se espalhou por 40 quilômetros quadrados (LIMA *et al*, 2010).

Os reservatórios de petróleo possuem água, petróleo e gás. São utilizados hidrociclones e flotação para separação da água. A água proveniente do separador água/óleo, é enviada a um vaso desgaseificador, antes do despejo ao mar no caso de campos marítimos e reinjetadas em poços terrestres a fim de ser realizada a recuperação secundária ou o descarte. A disponibilidade, o custo e outras características apresentadas pela água fazem com que ela seja o principal fluido utilizado na recuperação adicional de óleo (THOMAS, 2001).

Uma das causas dos acidentes no transporte e no armazenamento é a corrosão por CO<sub>2</sub> das ligas e dutos metálicos que formam os oleodutos e os tanques de armazenamento (WEI *et al*, 2005; ZHANG, 2009). O CO<sub>2</sub> é resultante da digestão

de hidrocarbonetos, fonte de carbono, por microorganismos. Alguns microorganismos atuam como despolarizadores catódicos, formadores de lama ou crescem em certas regiões do metal, produzindo células de oxigênio e contribuindo para vários tipos de corrosão. Destacam-se as bactérias: sulfo-redutoras, ferro-bactérias e as formadoras de lama (CORRÊA, 2003; HU e NEVILLE, 2009).

Águas oleosas também são produzidas pelas indústrias de papel, têxteis, farmacêuticas, químicas e petroquímicas. Além disso, atividades ditas cotidianas como a lavagem de motores, carros e aviões, oficinas mecânicas e postos de gasolina pois também são responsáveis pela contaminação de águas. Se cada uma dessas pequenas quantidades de efluentes gerados por essas atividades não for tratado, a poluição se torna significativa. Vale ressaltar que, além dos impactos ambientais de tais efluentes oleosos, citam-se também os problemas técnicos a eles relacionados, como o aumento do consumo de energia para bombeamentos, a corrosão e a necessidade de manutenções mais freqüentes de empresas onde há riscos de contaminação por óleos (SAIFUDDIN e CHUA, 2004).

Em 1948 foi criada a OMI – Organização Marítima Internacional, com intuito de criar e controlar normas internacionais para segurança e proteção do ambiente marinho (TINÔCO, 2003).

Na indústria metal-mecânica, emulsões de óleo em água, denominadas “cutting fluids”, são resultantes do processo de corte ou usinagem com material lubrificante. Devido à degradação térmica durante o seu uso, assim como à contaminação por partículas em suspensão, tais líquidos devem ser periodicamente trocados, o que gera um dos principais efluentes das indústrias metalúrgicas. Estima-se que essas empresas gerem um efluente que apresenta em torno de 0,3-0,7 g de óleo lubrificante para usinagem em emulsão a cada litro produzido, além de 30 g de óleo livre por litro de efluente (WEINTRAUB *et al.*, 1983; ASTAKHOV, 2011).

Outra fonte de águas oleosas que pode ser citada são as usinas de açúcar e álcool, cujas águas residuais do setor de moagem contêm óleos, graxas e lubrificantes, além de resíduos de bagaço de cana, terra e areia (ENGENHO NOVO, 2011).

Um dos problemas comumente encontrados na maioria das estações de tratamento industriais é a adequação dos efluentes a serem descartados nos corpos receptores. De acordo com a resolução 357 do CONAMA que estabelece os limites de contaminantes em efluentes, o limite de contaminação de óleo e graxas, é de 20

ppm (mg/L) para óleos minerais e 50 ppm para óleos vegetais e gorduras animais, o que gera uma necessidade cada vez maior de novos processos e técnicas de tratamento para águas contaminadas (CONAMA, 2005).

## 2.2 SORVENTES, ABSORÇÃO E ADSORÇÃO

Um material para ser empregado como sorvente deve apresentar a capacidade de atrair o óleo e repelir a água, ou seja, possuir caráter oleofílico e hidrofóbico. O uso de materiais naturais para aplicações em operações de limpeza ou purificação de águas oleosas pode representar uma alternativa atrativa nos sentidos econômico e ambiental (ANNUNCIADO., 2005; ADEBAJO *et al*, 2003).

Os mecanismos envolvidos no fenômeno da sorção em materiais sorventes são a adsorção e absorção. A sorção é um termo geral, utilizado para designar esses dois processos. A absorção pode ser entendida como um fenômeno no qual uma substância flui para o interior da outra, ocupando seus poros. A adsorção, por sua vez, é um processo no qual as moléculas ou átomos de uma fase ficam retidas na superfície sólida por ação das forças de campo. É um processo que está baseado na afinidade química entre o sorvente e o sorvato, através de uma grande área específica por isso resulta em um processo de interação mais forte.

Denomina-se adsorvente a substância em cuja superfície se produz o fenômeno da adsorção; adsortivo o fluido em contato com o adsorvente e adsorbato as espécies químicas retidas pelo adsorvente, como mostrado na FIGURA 2.

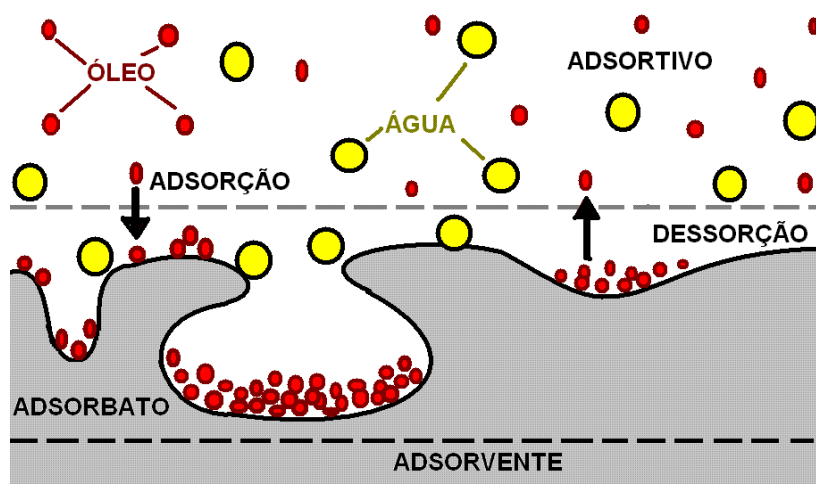


FIGURA 2 - Nomenclatura da adsorção

Fonte: NÒBREGA, 2001

A velocidade com que uma substância (sorvato) em fase aquosa é removida para uma fase sólida (sorvente) é controlada principalmente por três processos: a difusão ou a transferência de massa do soluto para a camada do fluido que circunda a partícula adsorvente; a difusão no filme ou difusão do soluto na interface entre as fases líquida e sólida para o sólido e a sorção do soluto na superfície interna dos poros do sorvente. O processo mais lento entre os três determinará a velocidade da sorção. Geralmente, a sorção dos solutos nos sítios da superfície interna ocorre quase instantaneamente e tem pouco efeito na velocidade total do processo. A transferência de massa do soluto da solução para a camada de fluido ao redor da partícula poderá ocorrer mais lentamente, mas normalmente é promovida pela agitação manual ou mecânica do sistema de sorção. Assim, a difusão do soluto através da superfície do sorvente ou difusão no filme normalmente é o fator limitante da velocidade de sorção e, neste caso, o gradiente de concentração do soluto através da superfície do sorvente terá grande influência na velocidade de sorção, uma vez que os sítios mais superficiais do sorvente são rapidamente ocupados. Deste modo, a velocidade de sorção tende a diminuir pela necessidade e maior dificuldade do soluto migrar mais internamente para encontrar os sítios disponíveis contribuindo para a capacidade e intensidade de adsorção (FERREIRA, 2003).

Materiais sorventes sintéticos, como barreiras de polipropileno (PP), polietileno (PE) e fibras e espumas de poliuretano (PU) de células abertas, são materiais altamente oleofílicos e hidrofóbicos, tradicionalmente utilizados na remediação durante as operações de limpeza em derramamentos (ADEBAJO *et al*, 2003). O PP e o PU exibem taxas de sorção de 14g óleo/g sorvente e 60g óleo/g de sorvente, respectivamente. Contudo, estes materiais possuem degradação lenta no ambiente, o que os torna outro passivo ambiental, juntamente com o óleo sorvido. As espumas de poliuretano são materiais altamente tóxicos, uma vez que liberam cianetos e compostos aromáticos durante o seu processo de incineração. Turfas têm sido usadas comercialmente na limpeza de águas contendo grandes quantidades de óleo. Além de todos os materiais tradicionais estudados, materiais alternativos, como os resíduos agrícolas, têm sido utilizados com sucesso em substituição, principalmente, ao carvão ativado, uma vez que estes materiais são encontrados com grande facilidade em determinadas regiões do Brasil (SANTOS *et al.*, 2008). Segundo ORNELAS *et al* (2004), a bioadsorção pode ser considerada como uma tecnologia emergente, e que pode ser considerada como um substituto ou um

cooperador com as tecnologias já utilizadas de tratamento. A utilização das biomassas para a remoção de óleos e graxas tem despertado grande interesse devido ao seu elevado desempenho e baixo custo de aquisição. Outra grande vantagem da utilização das biomassas, é que estas não necessitam de regeneração após o processo de adsorção, uma vez que este material pode ser encontrado na forma de resíduos sólidos, dispostos no meio ambiente (SANTOS *et al*, 2007).

A utilização de materiais naturais como sorventes para limpeza de águas oleosas, além de diminuir os resíduos descartados em aterros pode gerar resultados superiores aos produtos comerciais, no combate aos derramamentos de óleos. O principal requisito para um processo adsorptivo econômico é um adsorvente com altos valores de seletividade, capacidade e tempo de vida. Os adsorventes naturais vêm ganhando mais força e campo na recuperação de diversos materiais (SCHEER, 2002).

### 2.3 ADSORÇÃO EM COLUNA DE VIDRO

O processo de adsorção de componentes de misturas fluidas através de colunas de leito fixo de materiais adsorventes porosos é geralmente usada na remoção de compostos orgânicos presentes em muitos efluentes industriais, cuja remoção se torna difícil por processos de tratamentos biológicos convencionais (NÓBREGA, 2001). Em nível operacional, uma coluna de leito fixo possui um tempo de trabalho determinado pela sua capacidade de adsorver o contaminante, de tal forma que a saída do efluente atenda os níveis permitidos de concentração. (CONAMA, 2005; PERUZZO, 2003).

À medida que a solução atravessa o leito, a zona de adsorção vai descendo como uma verdadeira onda que se propaga. No instante em que o leito se encontra saturado, a concentração de saída já tem um valor apreciável. Esse instante é caracterizado como “breakpoint” ou ponto de quebra. A partir deste ponto a concentração de saída aumenta rapidamente até que, a concentração de saída seja praticamente igual à de entrada. A parcela da curva de adsorção entre os instantes do início da utilização do leito até após a ocorrência do “breakpoint”, constitui a curva de “breakthrough” ou curva de ruptura (NÓBREGA, 2001).

O cálculo da capacidade de adsorção em colunas de leito fixo pode ser obtido fazendo-se um balanço de massa na coluna, e monitorando a concentração na

saída da coluna em função do tempo. Para efetuar este cálculo é necessário garantir que a coluna esteja saturada, isto é, a concentração na saída da coluna deve ser igual à concentração de alimentação (BORBA, 2006). Logo, a capacidade de adsorção da coluna pode ser representada pela

Equação 1:

$$q^* = \frac{C_0 Q}{m_s} \int_b \left( 1 - \frac{C_{out}}{C_0} \right) dt - \frac{V_L \varepsilon C_0}{m_s}$$

Equação 1 - Capacidade de Sorção em Coluna

Onde  $q^*$  é a capacidade de adsorção do adsorvente (meq/g),  $C_{out}$  é a concentração do adsorvato na fase fluida na saída da coluna (meq/L),  $C_0$  é a concentração de alimentação na fase fluida (meq/L),  $m_s$  é a massa seca de adsorvente (g),  $Q$  é a vazão volumétrica da fase fluida (L/min) e  $V_L$  é o volume do leito (l).

## 2.4 FIBRAS NATURAIS

São fibras adquiridas na natureza sem origem artificial ou sintética. Neste trabalho foi utilizada como fibra vegetal a Paina e como fibra animal o pêlo de cachorro, além da turfa, sorvente comercial para uso como parâmetro (amostra de controle).

### 2.4.1 Paina

Flores grandes nas cores rosa e branca cujo fruto é em forma cápsula ovóide (LORENZI, 2002; ESALQ, 2005). conforme a FIGURA 3.



FIGURA 3 - *Chorisia speciosa*

Fonte: ENOKIDO, 2010

A Paineira pertence à família das Bombacáceas. São árvores de grande porte, chega à 30 metros de altura, tronco robusto com acúleos na casca, dotada de copa globosa ampla (FIGURA 4). Nome científico é *Chorisia speciosa* e seus nomes populares são: paineira-rosa, paineira, árvore-de-paina, paineira-branca, paina-de-seda, barriguda, árvore-de-lã e paineira-fêmea. Ocorre originalmente nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná (LORENZI, 2002).

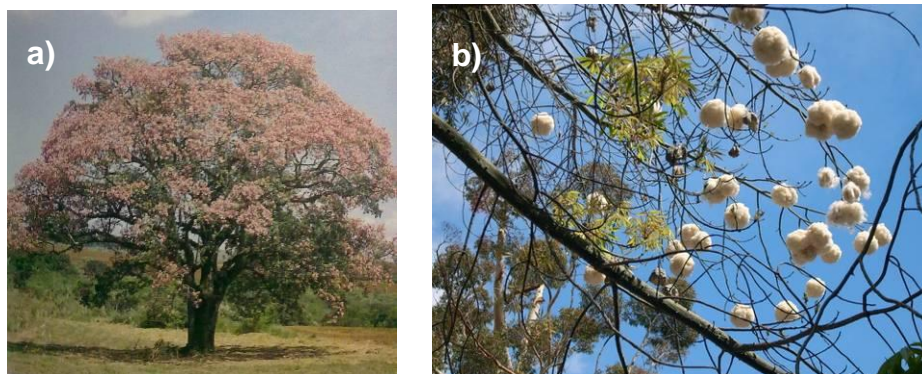


FIGURA 4 - Árvore da Paineira (a) e galhos cujo fruto maduro expõe a seda da paineira (b)

Fonte: LORENZI, 2002 e MAZZA, 1998

No interior do fruto as sementes ficam envolvidas pela seda da Paineira, que possui papel fundamental no deslocamento aéreo das sementes, quando o fruto maduro se abre (FIGURA 5). O fruto da paineira mede em torno de 20 cm de comprimento por 7 cm de diâmetro com numerosas sementes envolvidas em filamentos sedosos conhecidos como paina (ESALQ, 2005).

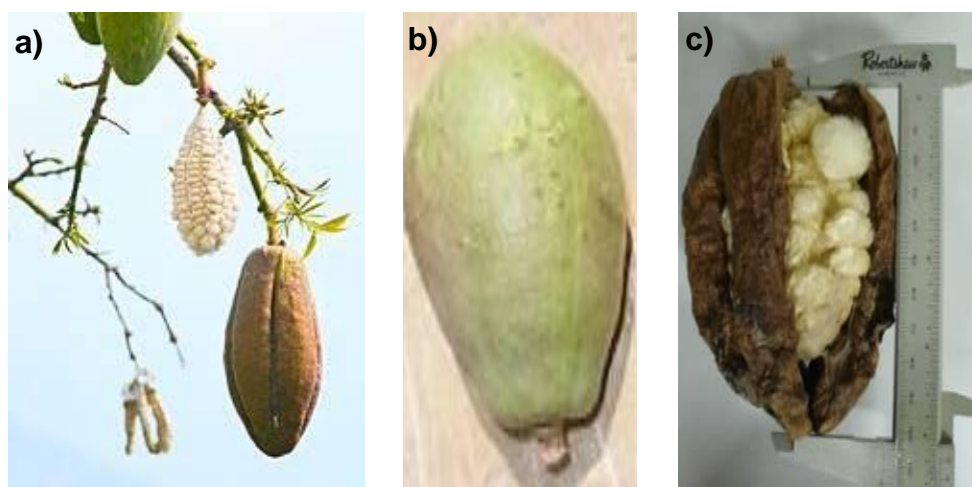


FIGURA 5 - Galho com os frutos (a), fruto verde (b) e fruto maduro com a paina exposta (c)

Fonte: MAZZA, 1998; ESALQ, 2005

#### 2.4.2 Pêlo de cachorro

Algumas raças de cachorro necessitam de tosa periódica dos pêlos, o que gera o descarte destas fibras. Em torno de 17% da população canina é composta por cães da raça Poodle. O pêlo de cachorro da raça Poodle apresenta morfologia semelhante à da lã de carneiro, visto que o pêlo também é constituído de proteínas, destacando-se a presença de queratina (AZEVEDO *et al*, 2008). Na FIGURA 6 temos a imagem do Cachorro Poodle Castor, único doador das amostras denominadas de “pêlo de cachorro de Poodle Branco”. As amostras foram coletadas a partir de tosa periódica.



FIGURA 6 - Pêlo de cachorro

## 2.5 PETRÓLEO E DERIVADOS

Petróleo significa óleo da pedra, por ser encontrado na maioria das vezes, impregnado em determinadas rochas porosas, dispostas em camadas geológicas sedimentares (CORRÊA, 2003).

O petróleo cru não tem aplicação direta. A sua utilização exige o processo de refino, do qual se obtém os derivados. Nas refinarias o petróleo é colocado em ebulição para fracionamento de seus componentes e conseqüente obtenção de derivados. O tipo de derivado obtido depende da qualidade de petróleo: leve, médio ou pesado, de acordo com o tipo de solo do qual foi extraído e a composição química (ANEEL, 2008). Na Figura 7 é apresentada a proporção de produção de derivados do petróleo.

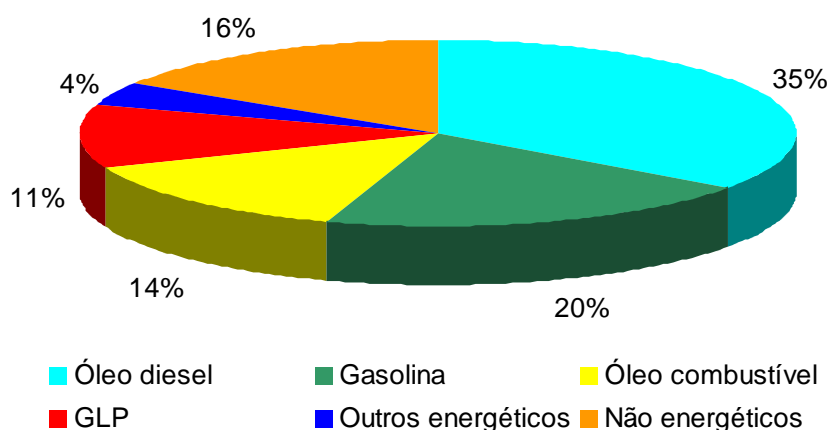


FIGURA 7 - Derivados de petróleo após o refino (2007)

Fonte: ANEEL, 2008

### 2.5.1 Petróleo

O petróleo é um óleo inflamável, formado pela decomposição, durante milhões de anos, de matéria orgânica como plantas e animais, e encontrado apenas em terreno sedimentar. A base de sua composição é o hidrocarboneto, substância composta por carbono e hidrogênio, à qual podem se juntar átomos de oxigênio, nitrogênio e enxofre, além de íons metálicos, principalmente de níquel e vanádio (ANEEL, 2008). Na sua forma bruta é freqüentemente na cor escura, é um líquido de densidade geralmente inferior à da água (REMY *et al*, 2002).

Além da matéria da decomposição da matéria orgânica a origem das rochas sedimentares contribui na geração do petróleo (acúmulo de fragmentos de outros minerais). O petróleo fica armazenado em rochas porosas (rocha reservatório), onde armadilhas geológicas (rocha selante), não permitem a migração do petróleo para áreas com menor pressão (CARDOSO, 2005).

O petróleo foi encontrado na China no século III quando se escavava o solo em busca de sal gema. Após acidentes fatais os chineses perceberam a existência do gás natural que foi canalizado pela primeira vez por dutos de bambu (ALTAVISA, 2011). Em 1850, na Escócia, o químico James Young descobriu que o petróleo poderia ser extraído do carvão e do xisto betuminoso, sendo então desenvolvido o primeiro processo de refino documentado. Muitos consideram que o marco inicial na exploração do petróleo ocorreu em 1859, quando o Edwin Drake perfurou um poço de petróleo de 20m de profundidade, em Tittusville, Pensilvânia EUA (CARDOSO, 2005).

As atividades associadas à exploração, produção e prospecção fazem parte do segmento denominado de “upstream” enquanto que as atividades de refino e beneficiamento são do segmento “downstream”. As atividades estritamente relacionadas ao setor de refino também são denominadas de “midstream” (CARDOSO, 2005).

### 2.5.2 Óleo mineral isolante

O Óleo Mineral Isolante é proveniente do refino do petróleo à 300 – 400°C, apresentando a capacidade de isolamento elétrico e resfriamento (CLAIBORNE e CHERRY, 2006). A maioria das moléculas é constituída por hidrocarbonetos, com baixo teor de enxofre, oxigênio e nitrogênio (WILSON, 1980).

Durante o funcionamento do transformador de tensão ocorre o envelhecimento do Óleo Mineral Isolante, alterando suas propriedades químicas, físicas e elétricas. Como a aceleração do processo de degradação da celulose (o papel está presente na parte interna do transformador), deterioração das propriedades isolantes e formação de borra (dificultando a troca de calor) (FRANCH, 2010).

## 2.6 ENSAIO RASTREÁVEL DE HIDROCARBONETOS

Investigação ambiental forense para avaliação do dimensionamento de derramamento de óleo, utiliza a identificação de biomarcadores para caracterizar o local determinando o volume e o tipo de óleo derramado (WANG e STOUT, 2007).

### 2.6.1 Cromatografia

A cromatografia é um método físico-químico de separação de misturas e identificação dos componentes, está fundamentada na migração diferencial dos componentes de uma mistura, que ocorre devido a diferentes interações entre duas fases imiscíveis, a fase móvel e a fase estacionária. A interação dos componentes da mistura com estas duas fases são influenciadas por diferentes forças intermoleculares, incluindo iônica, bipolar, apolar e efeitos de afinidade e solubilidade. A grande variabilidade de combinações entre a fase móvel e a estacionária faz com que a cromatografia tenha uma série de técnicas diferenciadas.

É dividida em cromatografia líquida clássica, líquida de alta eficiência e cromatografia gasosa (DEGANI *et al*, 1998).

A cromatografia líquida em coluna divide-se em dois grupos: a cromatografia líquida clássica, feita em colunas de vidro onde o fluxo da fase móvel depende da gravidade; e a cromatografia líquida que normalmente utiliza colunas metálicas e pressões de fase móvel elevada (obtida pela utilização de bomba de alta pressão) (COLLINS *et al*, 2006).

### 2.6.2 Ensaio com Ultravioleta Visível (UV-VIS)

A espectroscopia de fluorescência, utiliza luz ultravioleta (UV) é amplamente usada para medir a concentração total de produtos oleosos em água, principalmente devido à sua rapidez e simplicidade quando comparada a outros métodos, tais como a cromatografia gasosa-espectrometria de massa (CG-MS) ou a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Na espectroscopia de ultravioleta (UV) se utiliza radiação de baixo comprimento de onda ( $\lambda$  200-380 nm) e alta energia e a resposta é analisada em espectrofotômetro. A amostra, para ser observável, deve apresentar estrutura molecular adequada: presença de ligações insaturadas, ou seja, ligações  $\pi$  (duplas ou triplas). Quando a radiação na frequência do UV passa por um composto insaturado, parte dela é absorvida. A absorção é causada pela redução da energia do feixe da radiação quando elétrons em orbitais moleculares de baixa energia são excitados a orbitais moleculares de maior energia. O espectrofotômetro UV-VIS mede a intensidade da radiação absorvida a cada comprimento de onda ( $\lambda$ ) (SILVERSTEIN, 1998).

## 2.7 LIGAÇÕES DE PONTE DE HIDROGÊNIO

A ligação de hidrogênio é uma interação atrativa duas espécies de elementos uma eletronegativa e a outra possui um par isolado de elétrons. A energia da ligação de hidrogênio é da ordem de 20kJ/mol. Como a ligação depende da superposição dos orbitais, é uma interação de contato a qual desaparece quando o contato é rompido. Moléculas apolares dissolvem-se pouco em moléculas polares, porém interações fortes entre o solvente e o soluto não podem ocorrer o que caracteriza a interação hidrofóbica. Quando o soluto possui grupos hidrofóbicos, são formadas

moléculas de água unidas por pontes de hidrogênio em estruturas capazes de aprisionar as moléculas com grupos hidrofóbicos. Isto é a base para métodos de separação e purificação de compostos orgânicos sob condições de operação não-destrutiva (ATKINS, 2006). Uma superfície polar contribui para o aumento dos efeitos de remoção das partículas oleosas do fluído (MAHLER *et al*, 2010).

## 2.8 TRANSFERÊNCIA DE MASSA

Muitas operações envolvendo transferência de massa são acompanhadas de reações químicas sendo que a cinética da reação pode ter um considerável efeito nas taxas de transferência. A transferência de massa em escoamento lento através de leito com recheios, é conduzida em regime de análise dimensional, porém as informações detalhadas só estão disponíveis para o recheio constituído de partículas esféricas (BIRD *et al*, 2004).

## 2.9 ASPECTOS ECONÔMICOS

O acidente com o petroleiro Exxon Valdez no Alasca em 1989 gerou um prejuízo estimado em 2,8 milhões de dólares para os EUA. No caso do petroleiro “Prestige”, que em 2002 liberou 77 mil toneladas de petróleo na costa da Galiza - Espanha (cuja capital é Santiago de Compostela), somente os custos de limpeza ultrapassaram 1 milhão de euros na época do acidente (LIU, 2010). Anos após o desastre do Prestige, cujos destroços do navio se encontram na profundidade de 3500m e 3800m, o óleo atingiu as águas superficiais sem apresentar sinais de degradação, deixando um rastro na coluna de água acima dos destroços (ELORDUI-ZAPATARIETXE *et al*, 2010).

Em novembro de 1998 o navio “Pallas” após um incêndio no compartimento de cargas, encalhou e resultou na liberação de 60 toneladas de óleo combustível próximo a costa da Dinamarca, onde foram gastos 14 milhões em Marco Alemão (moeda oficial da Alemanha reunificada até 1999) (LIU, 2010).

No trabalho de LIU (2010), foi apresentado um método de avaliação econômica para prognóstico dos gastos para recuperação conforme a quantidade de

óleo liberada no ambiente, a localidade, tipo de óleo e o tempo. Variando de €1,28 milhão até €41,27 milhões em gastos para recuperação do ambiente.

## 2.10 ESTADO DA ARTE

Com a contextualização das pesquisas que estão sendo feitas atualmente nos temas deste trabalho é possível identificar os desafios existentes e delimitar as propostas que serão abordadas nesta dissertação.

### 2.10.1 Plano de contingência

Contingência é um fato que pode ou não ocorrer, sendo que sua ocorrência pode acarretar em uma emergência de grande porte. Pode ser definida emergência de grande porte toda ocorrência que gera danos a pessoas, meio ambiente ou equipamentos. Para delimitar e direcionar as ações para prevenção e controle de acidentes é necessário um plano de contingência (CARDOSO, 2005).

Para o combate à poluição por óleo em qualquer tipo de ecossistema, a primeira etapa é um estudo de Plano de Contingência onde são estudados os pontos de vulnerabilidade do processo de manuseio do óleo, ou seja, na extração, no refino, no transporte ou no armazenamento. Assim, são definidos os procedimentos que devem ser adotados antes, durante e após um derramamento (SANTOS, 2006; DALTON e JIN, 2010).

Em 2002 foi iniciada a geração e o mapeamento do ISA – Índice de Sensibilidade Ambiental, a nível nacional pela Petrobrás e internacional pela NOAA, realizando a análise dos ambientes costeiros mapeados através de dados de sensores remotos, juntamente com o sistema de informação geográfica (SIG), dados sobre geomorfologia, litologia associando estas informações com o relevo da região para o controle de sensibilidade de derramamento de óleo nas regiões costeiras. A elaboração de mapas de ISA auxilia na elaboração de estratégias de prevenção e controle de derramamento de petróleo (BOULHOSA e SOUZA, 2009; DALTON e JIN, 2010).

Ainda no âmbito do estudo dos fatores geradores de acidentes ambientais com petróleo, destaca-se o estudo das possíveis condições que favorecem a erosão-corrosão dos dutos de transporte de petróleo, identificando os parâmetros

críticos e possibilitando a utilização de mecanismos de controle e prevenção (HU e NEVILLE, 2009; ZHANG, 2009).

Utilizando estes dados para compreensão dos parâmetros de vulnerabilidade e associando à métodos matemáticos multi-critérios, como ponderação linear, é possível criar uma ferramenta de suporte para tomadas de decisões para os gestores (LIU, 2010).

#### 2.10.2 Confecção de tecido à base de pêlo de cachorro

Utilizando pêlo de Poodle, foi obtido o tecido denominado CANICHE (em francês é o sinônimo de Poodle). A presença de fibras curtas dificulta a utilização de equipamentos convencionais para fiação do pêlo, por isso foi associado a fibra de acrílico (PAC), na proporção 1:3 de pêlo de Poodle para PAC. O fio obtido foi tingido seguido de uma aplicação de PHMB – Hidrocloro de poli-hexametileno biguanida, para minimizar a proliferação de bactérias. Após a aplicação do bactericida foram confeccionados os tecidos para finalizar com a criação de vestimentas para os próprios animais (AZEVEDO *et al*, 2008).

#### 2.10.3 Tratamento de águas oleosas

Para o tratamento de ambientes contaminados por óleo, podem ser utilizados processos físicos, térmicos, químicos ou biológicos. Os processos químicos, denominados processos oxidativos avançados, baseiam-se na formação de grupos hidroxila altamente oxidantes tendo como produto final dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Processos biológicos dependem da utilização de microorganismos para metabolização, porém não há bons resultados sob elevadas concentrações de óleo contendo frações mais pesadas (MILLIOLI *et al*, 2004; WEI *et al*, 2005; RIBEIRO *et al*, 2000).

Nos processos biológicos se destacam a utilização de surfactantes compostos de origem microbiana que têm a capacidade de reduzir a tensão superficial (fases líquido-gás) ou a tensão interfacial (fases imiscíveis líquido-líquidos), diminuindo a tensão superficial do hidrocarboneto com a água e contribuindo para o aumento da biodegradação do petróleo (PIRÔLLO, 2006; KRONEMBERGER *et al*, 2010; ASÇI *et al*, 2010).

Berton *et al* (2011), desenvolveu uma metodologia para utilização de surfactante na separação da água em emulsões com óleo, onde as emulsões foram

centrifugadas, facilitando o processo de floculação, para em seguida o óleo ser retirado por bombeamento finalizando com a aplicação do agente surfactante. Foi utilizado os surfactantes Tween 20, Tween 80, MLG, Citrem e Span 20.

Em 1891 Bretney depositou a patente, sobre a aplicação do ciclone de ar para os fluxos líquidos. Nos últimos anos, pesquisas desenvolveram métodos de aplicação de hidrociclones na separação de substâncias com diferentes densidades a partir da força centrífuga criada por um fluxo de redemoinho (BAI *et al*, 2011).

A força motriz de separação é a força centrífuga, resultando na transformação da energia estática do fluido (pressão do fluido) em energia dinâmica (velocidade do fluido), onde a estrutura do hidrociclone consiste em uma parte em forma cilíndrica e outra na forma cônica, onde o líquido é injetado tangencialmente por uma entrada superior induzindo um forte movimento de redemoinho, conforme Figura 8 (BAI *et al*, 2011; NAKASHIMA *et al*, 2005).

Srinivasan (2010) associou o processo de hidrociclones com a utilização de fungos *Mucor rouxii* como biosurfactante, para separação água óleo.

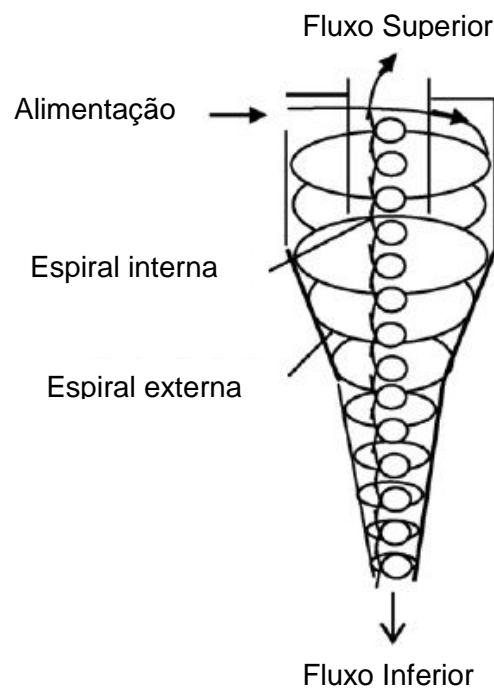


Figura 8 - Hidrociclone

Fonte: BAI *et al*, 2011

No início da década de 1970, além dos processos de clássicos de separação, como destilação, filtração, absorção, troca iônica, centrifugação, extração por solvente e cristalização, surge a utilização de membranas sintéticas como barreira

seletiva. A eficiência dos sistemas de separação que utilizam membranas está diretamente associada ao tamanho das espécies presente e o tamanho dos poros da membrana, sendo denominados os processos em: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e diálise (D) (HARBERT *et al*, 2006).

Nos reservatórios de petróleo, além do petróleo há gás e água, esta água é denominada água conata (CORRÊA, 2003). Além da água conata, há a água de injeção utilizada na recuperação do poço de petróleo, auxiliando na elevação do fluido até a superfície (THOMAS, 2001; CARDOSO, 2005). Segundo CAMPOS *et al* (2002), para cada barril de petróleo são gerados dez barris de água oleosa.

Pendashteh *et al* (2011) utilizou o processo de biorreator com membrana para recuperar estas águas residuais provenientes do processo de extração do petróleo. Associando este processo após um tratamento primário onde foi empregado hidrociclones, coagulação e floculação, para assim obter melhores resultados.

Abadi *et al* (2011) realizou microfiltração de águas residuais a partir da utilização de membrana cerâmica tubular  $\alpha-Al_2O_3$ , para retirada do óleo. Membranas cerâmicas suportam fluxos elevados em função da sua maior porosidade e maior superfície hidrofílica, comparado com as membranas orgânicas.

Javaid *et al* (2010) também utilizou membranas cerâmicas tubulares para microfiltração do óleo vegetal. Neste caso, o objetivo principal foi a utilização do óleo e o aumento de sua vida útil. A microfiltração retirou a água e outras substâncias que contribuem para o envelhecimento do óleo e prejudicam sua eficiência.

#### 2.10.4 Uso de sorventes na purificação de águas oleosas

“Água oleosa” é um termo genérico usado para descrever todas as águas que apresentam quantidades variáveis de óleos, graxas e lubrificantes, além de uma variedade de outros materiais em suspensão, que podem incluir areia, terra, argila e outros, e uma gama de substâncias coloidais e dissolvidas, tais como detergentes, sais ou metais pesados (SANTOS, 2008; ANNUNCIADO, 2005).

Os óleos e graxas podem estar presentes na água oleosa em duas formas distintas: livres ou emulsionados. O óleo livre é aquele que corresponde a uma fase visivelmente distinta da fase aquosa, que devido à diferença de densidade aparece como uma camada flutuando na superfície da água ou como gotículas em suspensão, sendo facilmente identificável. Quando a água oleosa contém óleo emulsionado, este se encontra tão intimamente misturado e estabilizado na água

que a sua presença não pode ser distinguida a olho nu, tendo-se um sistema aparentemente monofásico água-óleo, que é conhecido como emulsão (FOUST, 1982).

Annunciado (2005) utilizando sisal, bucha vegetal, serragem, rejeitos folhosos, fibra de côco em testes de sorção estática e dinâmica com petróleo verificou que o sisal, a bucha vegetal, a fibra de côco e a serragem não são indicados para aplicação de contenção em meio aquático, pois após a sorção perdem a capacidade de flutuar em água contribuindo para um novo problema ecológico por dificultar a retirada deste do meio aquático. A paina em sua forma livre apresentou uma rápida e alta capacidade de sorção de óleo de aproximadamente 85g de óleo por gramas de sorvente.

Bonetti em 2005 testou diferentes tipos de revestimento para confecção de barreiras, onde utilizando algodão cru, tule, tecido reciclado, viscose, algodão-poliviscose em ensaios de sorção com óleo diesel e gasolina, verificou o destaque para o tecido de algodão cru e algodão não alvejado, por apresentarem menor impedimento na capacidade de sorção. Os ensaios foram realizados com recheio de paina, turfa e manta de polipropileno. Em 2006 Bonetti testou a capacidade de sorção da *Cortaderia selloana* (Capim dos pampas) como sorvente para derivados do petróleo. Os resultados de sorção para gasolina, diesel e diesel marítimo foram de respectivamente de 11,25, 17,28 e 18,17 g de óleo por g de sorvente.

Tanobe (2007) testou espumas de poliuretanos flexíveis com densidades diferentes como sorventes de petróleo e diesel marítimo com água do mar artificial. Os ensaios foram realizados em sistema estático e dinâmico onde foram verificados bons resultados de sorção em torno de 58,2 g de óleo por g de sorvente.

Santos *et al* (2008) verificou a capacidade de sorção de fibras de agave azul, proveniente da fabricação de tequila, em sistemas seco, estático e dinâmico com petróleo. Com o objetivo de comparação, foi realizado os ensaios também com paina. Porém as fibras de agave azul obtiveram resultados muito inferiores aos outros materiais inclusive aos materiais comercialmente utilizados.

Rajakovic-Ognjanovic *et al* (2008) utilizou lã de carneiro como sorvente orgânico e como sorvente inorgânico: sepiolite, bentonita e zeolita. Em testes de sorção em soluções de óleo de motor e água obteve os melhores resultados de sorção para as amostras de lã de carneiro.

Folletto *et al* (2009) utilizando *salvínia sp.* (planta aquática), casca de amendoim, casca de arroz, cinzas de casca de arroz, sabugo de milho triturado, borra de café em pó, serragem e carvão ativado em soluções contendo óleo mineral Nujol e óleo mineral lubrificante 15W/40, verificou que a *salvínia sp.* foi o material que apresentou a maior capacidade de absorção de óleo, superando inclusive o adsorvente comercial. Witek-Krowiak *et al* (2011) também utilizaram casca de amendoim como sorvente para metais pesados como cromo e cobre em meio aquoso, obtendo resultados significativos na remoção destes, em ensaios dinâmicos. Dahlan *et al* (2011) também realizaram ensaios de sorção com casca de arroz, em ensaios de cinética de desativação para dióxido de enxofre e óxido de azoto, que contribuem para a formação de chuvas ácidas e obtiveram bons resultados.

Perotta (2009) avaliou diferentes tipos de recheio em colunas de adsorção para purificação de águas oleosas. Utilizando espumas de poliuretano rígida (utilizadas como isolantes de refrigeradores), paina e pêlo de cachorro poodle branco como material sorvente e soluções de água com tolueno, benzeno, óleo de girassol e óleo de motor usado, avaliou a capacidade de purificação destes materiais. O PU por suas características físicas apresentou dificuldade na aplicação como recheio de coluna, enquanto que a paina apresentou melhores resultados nas soluções com o óleo de motor. Perotta reportou que para óleos mais leves como o de girassol, o pêlo de Poodle foi mais eficaz.

### 3 MATERIAIS

#### 3.1 FIBRAS

Foram confeccionadas amostras tecidas de paina, pêlo de Poodle Branco, pêlo de cachorro de raças diversas (material descartado por pet-shop proveniente de tosa periódica).

Como amostras de controle foram utilizadas: um sorvente comercial à base de polipropileno em forma de manta (da marca Ecosafe) e turfa nacional (Salvínia) com revestimento de algodão (marca Supersorb). Turfa é um substrato resultante da decomposição gradual da biomassa gerada em condições frias e utilizada na agricultura como solo vegetal (Figura 9). As amostras do tecido de algodão foram retiradas das barreiras de contenção comercializadas com recheio de turfa.



Figura 9 - Turfa nacional

#### 3.2 FIBRAS VEGETAIS: PAINA

As fibras de paina foram coletadas na cidade de Curitiba, Paraná e utilizadas sem nenhum tratamento com apenas a retirada manual das sementes.

#### 3.3 FIBRAS ANIMAIS: PÊLO DE CACHORRO

Foram coletadas fibras animais de cães de raças diversas a fim de verificar a capacidade de sorção, no intuito de viabilizar a utilização e eliminar a dependência de um tipo específico de pêlo com relação à cor e a raça (Figura 10).



FIGURA 10 – Amostras de pêlo de cachorro de raças diversas

Os pêlos de cachorro de raças diversas foram doados semanalmente pela Pet Shop Alfadog no período de 24/10/2009 até 20/12/2009. Após a coleta, considerando as raças ocorrentes, foi analisada estatisticamente a proporção em massa de cada raça para formar amostras com características proporcionais ao material coletado. Os pêlos de Poodle branco foram coletados de um único cachorro.

### 3.4 ÓLEOS

O Petróleo foi doado pela PETROBRÁS, Unidade de negócio Refinaria Getúlio Vargas (REPAR – Araucária – Brasil).

O Óleo Mineral Isolante Usado é proveniente da manutenção do transformador de tensão, onde este óleo apresentou características de envelhecimento após sua utilização no equipamento. O óleo mineral isolante usado foi doado pela Eletrosul - Eletrobrás. Na Figura 11 a imagem dos óleos.

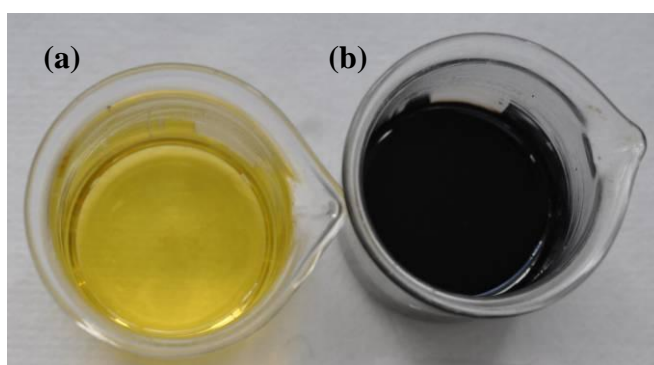


FIGURA 11 – Óleo Mineral Isolante usado (a) e Petróleo (b)

## 4 MÉTODOS

### 4.1 COLETA E ESTATÍSTICA DOS PÊLOS DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS

A partir de 48 amostras obtidas de raças diversas totalizando 1119,6g foi verificada a proporção estatística de cada raça em massa com relação à massa total obtida e à ocorrência de pelo sujo ou limpo. As raças analisadas foram: Lhasa Apso, Maltês, Poodle, São Bernardo, Schamauzer, Shitsu e York Shire. Os pêlos foram transformados em fios, sem qualquer tratamento para respeitar as condições de coleta. A cor e a forma do pêlo não foram contabilizadas na estatística em função da dificuldade em determinar a proporção correta, em virtude da ocorrência de várias características simultaneamente.

### 4.2 CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS PARA OS TESTES DE SORÇÃO

A fiação foi feita manualmente devido aos variados comprimentos das fibras, sendo estas mais curtas que as fibras comumente usadas nos equipamentos de fiação convencionais. Fibras curtas podem ser utilizadas na confecção de tecidos não-tecidos (“non woven”) por processos de fricção, adesão ou coesão, ou ainda a combinação destes, gerando uma estrutura plana, como uma manta de fibras ou filamentos (SINDITÊXTIL SP, 2009).

O primeiro passo foi separar e orientar as fibras em pequenas tiras de aproximadamente 20 cm (Figura 12 e Figura 13), em seguida as tiras foram amassadas com o auxílio de um plástico para facilitar o processo de torção (Figura 14). As tiras de 20 cm, foram unidas durante o processo de torção e em seguida enroladas em forma de novelo (Figura 15 e Figura 16). Os fios obtidos neste processo apresentaram aproximadamente 0,5 g/m de gramatura. Os fios foram utilizados para formação de pequenos tapetes trançados após os novelos terem sido armazenados sob tensão por 3 dias pois antes disso não era possível produzir os tapetes já que os fios não tinham resistência mecânica adequada. Foram formados tapetes circulares de aproximadamente 1,5 cm de diâmetro.

Foi utilizado o crochê, como técnica para trançar os fios e formar as amostras em forma de almofadas.



Figura 12 – Separação das fibras

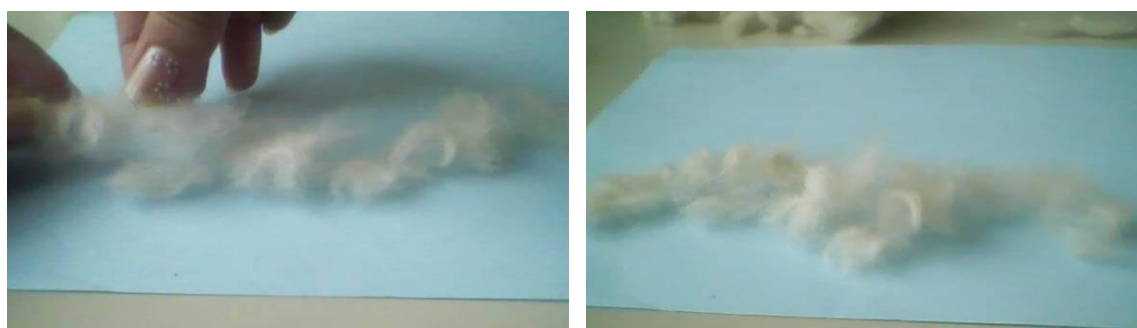


FIGURA 13 - Orientação das fibras para formação do fio



FIGURA 14 - Foi utilizado um saco plástico para auxiliar na primeira torção das fibras e assim facilitar o passo seguinte



FIGURA 15 - Enrolado manualmente para facilitar a torção



Figura 16 - Torção e formação do novelo

Discos circulares foram recortados do sorvente comercial em forma de manta, composto de polipropileno e do tecido de algodão que reveste a turfa, e foram feitas almofadas de algodão com recheio de turfa.

#### 4.3 TESTE DE SORÇÃO SECA EM PETRÓLEO

Teste de sorção seca foi realizado utilizando amostras circulares, com 1,5 cm de diâmetro, previamente pesadas na balança analítica da marca Bioprecisa. As amostras em forma de tapete de paina, pêlo de poodle branco, pêlo de cachorro de raças diversas e manta de polipropileno foram colocadas em béquer previamente tarado, com 10 mL de Petróleo, com permanência nos tempos de 5, 15, 30 e 60 minutos. Após o tempo imerso em petróleo as amostras foram colocadas em uma peneira para escoar o óleo não retido. O tempo de permanência das amostras na peneira foi de 20 minutos.

Foram utilizadas para cada um dos tempos amostras em triplicata, para paina em forma de tapete, tapete de pêlo de Poodle Branco trançado, tapete de pêlo de cachorro de raças diversas (Pêlo Misturado), Polipropileno em forma de manta, tecido de algodão e almofada de turfa com revestimento de algodão. O sorvente comercial inicialmente em forma de manta foi cortado no formato circular com diâmetro igual a 1,5 cm.

Em seguida as amostras foram pesadas na balança analítica utilizando placas de vidro devidamente taradas.

#### 4.4 TESTE DE SORÇÃO SECA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE

Os procedimentos foram os mesmos do teste de sorção seca em petróleo, porém utilizando 10 mL de óleo mineral isolante usado como óleo de sorção.

#### 4.5 TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM PETRÓLEO

Tapetes circulares de Paina, pêlo de Poodle Branco, pêlo de cachorro de raças diversas, manta de polipropileno, tecido de algodão e turfa com revestimento de algodão, circulares com aproximadamente 4,5 cm de diâmetro foram previamente pesados em balança analítica Bioprecisa.

As amostras foram lançadas em béquer de 200 mL com 150 mL de água destilada e 5ml de óleo sob agitação constante durante 5 minutos, em temperatura ambiente. Foram utilizadas barra magnética oval 10x30 mm e o agitador magnético Fisaton com velocidade de 700 rpm. A Figura 17 representa o teste com uma amostra de tapete de pêlo de poodle branco em petróleo.

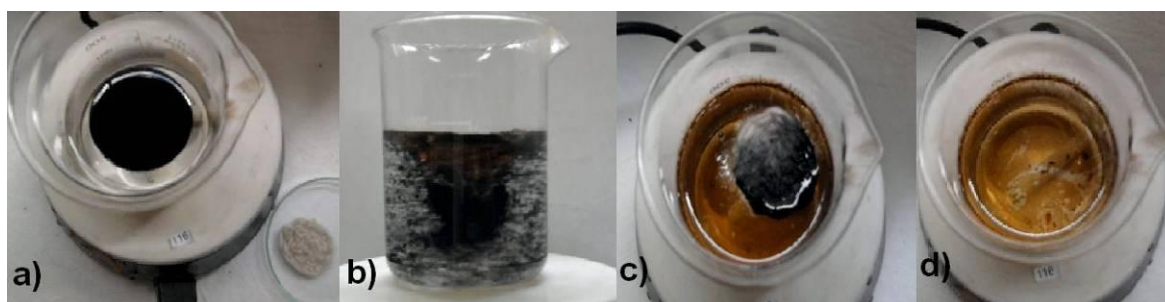


FIGURA 17 - Béquer com Petróleo ao lado da amostra (a), vórtex gerado pela agitação (b), amostra após a sorção (c) e solução água/óleo após a sorção (d).

Após o término do tempo de sorção, as amostras foram retiradas do béquer e colocadas em uma peneira para escoar o excesso pelo período de 20 minutos. Em seguida as amostras foram pesadas em balança analítica utilizando placas de vidro devidamente taradas. Os testes foram realizados em quintuplicata.

A capacidade de sorção total  $S_{Total}$  da amostra é determinada conforme a Equação 1, onde  $P_{inicial}$  é o peso inicial da amostra e o  $P_{final}$  é o peso após a sorção.

$$S_{Total} = \frac{P_{final} - P_{inicial} + P_{\acute{a}gua}}{P_{inicial}}$$

EQUAÇÃO 2 - Sorção total em solução com água

#### 4.6 TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO

Igualmente ao ensaio de sorção dinâmica utilizando petróleo, foram testados tapetes circulares de Paina, pêlo de Poodle Branco, pêlo de cachorro de raças diversas, manta de polipropileno, tecido de algodão e turfa com revestimento de algodão, com aproximadamente 4,5 cm de diâmetro, que foram previamente pesados em balança analítica. Os testes foram realizados em triplicata com o mesmo procedimento do teste de sorção dinâmica com Petróleo seguindo a Equação 2.

#### 4.7 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA RETIDO PELAS AMOSTRAS

A quantidade de material retido na amostra após a sorção é determinada pela diferença de peso antes e após o contato com o contaminante a ser testado, porém é necessário saber se a amostra reteve água para os ensaios de sorção dinâmica e em sistema hídrico simulado. É possível obter esta informação pelo ensaio de destilação que determina o teor de água retido na amostra.

A determinação do teor de água, utilizando o processo de destilação por arraste a vapor, é definida pela norma ASTM D95-83. Consiste na utilização da manta aquecedora como fonte de calor e da solução tolueno/xileno na proporção de 1:4, como mistura de arraste. A amostra (após ser usada em testes de sorção), é colocada no balão com a solução tolueno/xileno, sendo conectada ao coletor e ao

condensador (Figura 18). A quantidade de água presente na amostra é arrastada pelo vapor gerado a partir da mistura de solventes aquecidos e é retida pelo coletor.

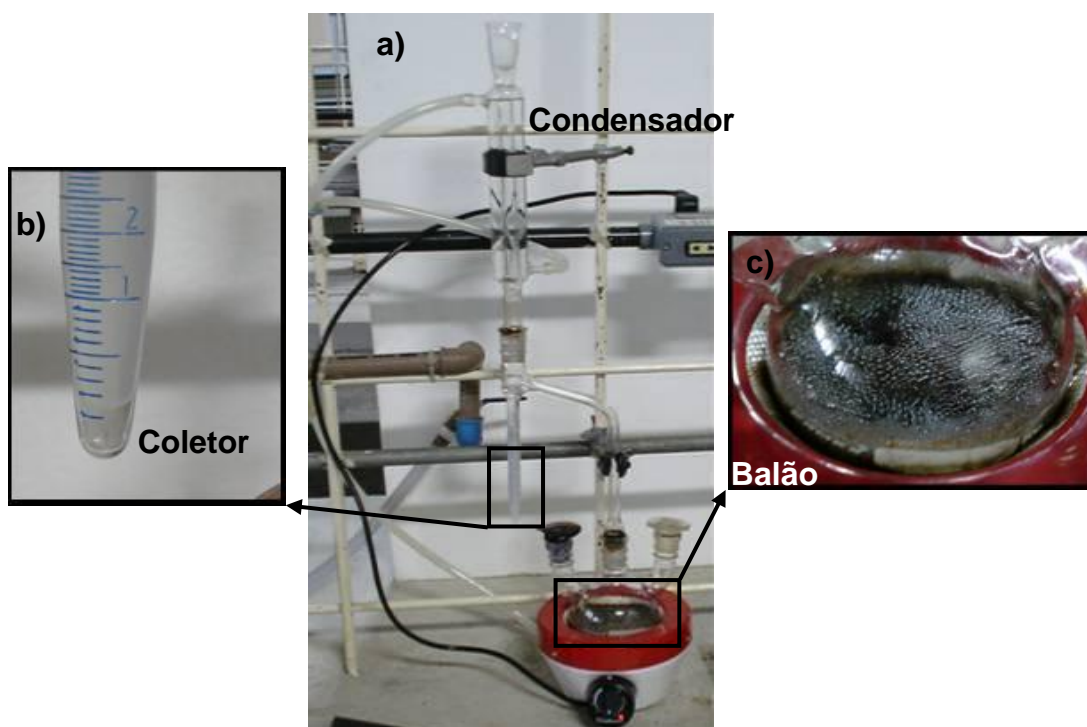


FIGURA 18 - Esquema de montagem para a determinação do teor de Água por Destilação ASTM D95-83 (a), Porção de água retida pelo coletor (b) e porção da amostra sendo destilada (c)

Fonte: ANNUNCIADO, 2005

A quantidade necessária de amostra a ser destilada deve ser o suficiente para acumular pelo menos 0,1 mL no coletor e a quantidade de solvente de arraste deve ser de no mínimo 100 mL. O tempo requerido pela norma é o tempo em que não ocorre a variação no volume de água coletada dentro do intervalo de 5 minutos.

Para o cálculo de sorção de óleo, foi retirado o peso correspondente ao teor de água retido na amostra d'água, conforme a Equação 2. A sorção total é descrita como função da diferença entre o peso final com o peso inicial e o peso retido de água em relação ao peso inicial, definindo a proporção de gramas de óleo por gramas de sorvente.

#### 4.8 SISTEMA HÍDRICO SIMULADO

Utilizando uma chapa de aço galvanizado, foi construída uma estrutura para simular fluxo de corrente cíclica e assim tentar reproduzir a situação de

derramamento de óleo em ambiente aquático com correnteza (Figura 19). Para gerar a correnteza foram utilizados 2 litros de água destilada e uma bomba peristáltica Milan com a vazão de 4,95 mL/s.

A água foi contaminada com 20 mL de petróleo e em seguida foi inserida no sistema hídrico simulado a amostra previamente pesada. Cada amostra permaneceu durante 30 minutos em temperatura ambiente. Após este período, foram retiradas do sistema e permaneceram sobre uma peneira para o escoamento do excesso de fluído para subsequente pesagem. Os testes foram realizados em triplicata.



Figura 19 - Sistema Hídrico Simulado

## 4.9 MICROSCOPIA

As imagens obtidas por microscopia, foram analisadas através do software de processamento de imagem AxioVision, utilizando a escala fornecida automaticamente pelo equipamento de microscopia em cada imagem, para calibração das ferramentas digitais. O programa AxioVision é disponibilizado pela Carl Zeiss Microscopy (ZEISS, 2011).

### 4.9.1 Óptica

Foi utilizado o microscópio óptico Olympus modelo BX51 (Figura 20), para analisar as amostras utilizadas nos testes de sorção dinâmica.



FIGURA 20 - Microscópio óptico Olympus modelo BX51

Utilizando o Microscópio Óptico Zeiss, foram realizadas imagens com das amostras utilizadas no teste em Sistema Hídrico Simulado, com o intuito de analisar o arranjo das partículas de óleo e água nas fibras e a afinidade entre as fibras e o óleo.

#### 4.9.2 Eletrônica de varredura

Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL, modelo JSM-6360LV (Figura 21). As amostras foram metalizadas com ouro para serem utilizadas no microscópio.



FIGURA 21 - Microscópio Eletrônico de varredura - JEOL

#### 4.10 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE VISCOSIDADE

Viscosidade é a resistência que o fluido opõe aos deslizamentos internos das moléculas. É uma propriedade essencialmente mecânica, também chamada de tenacidade e atrito interno. Utiliza-se o sistema Engler cujos resultados são indicados em graus Engler (E°) ou Centipoise (cP) (REMY *et al*, 2002).

Utilizando o Rheo-viscosímetro Prufgerate-Werk Medingen (Figura 22), do Laboratório de Emulsões, Departamento de Engenharia Química/UFPR, foi realizado testes de viscosidade para o petróleo, com carga de 10g / cm<sup>2</sup> no suporte 0,1 nas temperaturas 22, 36, 40, 45 e 52,2 °C em triplicata.

Para o óleo mineral isolante foi utilizado o mesmo suporte 0,1 com carga de 10 g/ cm<sup>2</sup> e 3,025 g/cm<sup>2</sup> nas temperaturas de 22, 39, 43 e 51,5°C em triplicata.

A viscosidade  $\eta$  é definida pela Equação 3:

$$\eta = P.t.k$$

Equação 3 - Viscosidade

Considerando,

$\eta$ : como a viscosidade em Centipoise (cP)

$P$ : sendo a carga aplicada

$t$ : a temperatura

$k$ : a constante do equipamento, conforme suporte utilizado



Figura 22 - Rheo-viscosímetro

Os resultados da viscosidade foram descritos em função da temperatura, sendo obtidas as curvas da viscosidade de cada óleo.

#### 4.11 ENSAIO EM COLUNA DE VIDRO

As fibras na forma livre, de paina, pêlo de poodle branco, pêlo de cachorro de raças diversas e turfa (como amostra de controle), foram utilizadas como recheio de coluna de vidro para avaliação da capacidade de limpeza de águas oleosas em leito fixo (Figura 23).

A limpeza de águas oleosas utilizando a coluna de leito fixo, visa verificar a capacidade do material como sorvente, analisando sua capacidade como agente de separação física, ou seja, separar o óleo da água. Neste ensaio, as moléculas da fase fluida são retidas na superfície do adsorvente (paina, pêlo de poodle, pêlo de cachorro de raças diversas e turfa), por forças de Van der Waals, formando uma camada de moléculas.

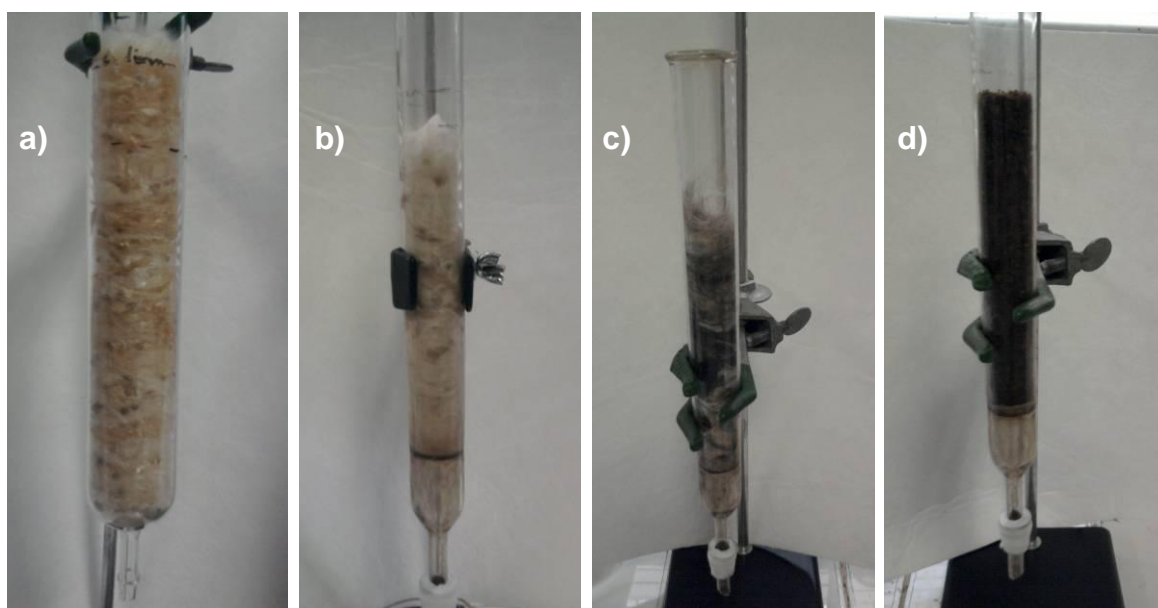


FIGURA 23 - Colunas de purificação: paina (a), pêlo de poodle branco (b), pêlo de cachorro de raças diversas (c) e turfa (d)

As amostras coletadas na corrente de saída da coluna, foram analisadas por cromatografia (2.6.1) para a mistura água destilada/petróleo, determinando a concentração, em ppm, de BTEX em água (HELENO *et al*, 2010).

Para facilitar o empacotamento do recheio da coluna foi utilizado pérolas de vidro (esferas de vidro com 0,3 cm de diâmetro).

A mistura petróleo com água destilada, na proporção 1:7, foi agitada por 5 minutos para em seguida colocado em uma bureta graduada sobre a coluna, para ser iniciada a passagem da solução pelo recheio da coluna. Amostras de corrente de saída foram coletadas em triplicata em 8 tempos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 COLETA E ESTATÍSTICA DOS PÊLOS DE CACHORRO DE RAÇAS DIVERSAS

Dos 1119,6g de pêlo somente 77,8g foram lavados antes da tosa. O que determina a lavagem antes da tosa é o tamanho do cachorro, para cães grandes a tosa é realizada com o pêlo sujo. Foi analisada a relação da massa de cada raça em relação à massa total coletada (Tabela 1). Não foi analisada a estatística de cores pela dificuldade em determinar a proporção correta, visto que a maioria dos cães não possuía uma cor definida. O pêlo de Poodle branco coletado não foi lavado e a gordura natural do pêlo cria uma capa hidrofóbica que possui afinidade pelo óleo.

TABELA 1 - Porcentagem de ocorrência das raças em relação à massa total coletada.

Raça	Massa (g)	%
Lhasa Apso	467,7	42
Maltês	78,4	7
Poodle	205,4	18
São Bernardo	21,2	2
Schamauzer	152,6	14
Shitzu	36,6	3
York Shire	157,7	14

### 5.2 CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS PARA OS TESTES DE SORÇÃO

Na Figura 24, temos os exemplos de amostras utilizadas nos testes de sorção seca e sorção dinâmica para petróleo e para óleo mineral isolante. Foram utilizados também só o revestimento de algodão em forma de disco circular (Figura 24e) e o revestimento de algodão com a turfa em forma de almofada.

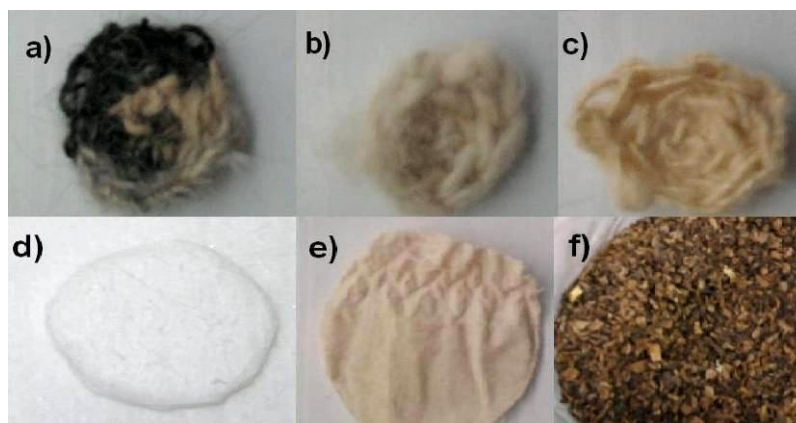


FIGURA 24 - Amostras de pêlo de cachorro de raças diversas (a), pêlo de poodle branco (b), paina (c), polipropileno em forma de manta (d) e revestimento de algodão (e) da turfa (f).

Para os ensaios em sistema hídrico simulado foram confeccionadas mini-barreiras de contenção (Figura 25), nas dimensões 5 cm X 2 cm X 2 cm. Para paina, pêlo de poodle branco e pêlo misturado foi confeccionando uma estrutura com revestimento externo a base da própria fibra em forma de fio e em seu interior com a fibra na forma livre. Para a amostra de controle, foi confeccionado com as mesmas dimensões, sendo o revestimento externo de tecido de algodão e recheio de turfa (Figura 25).

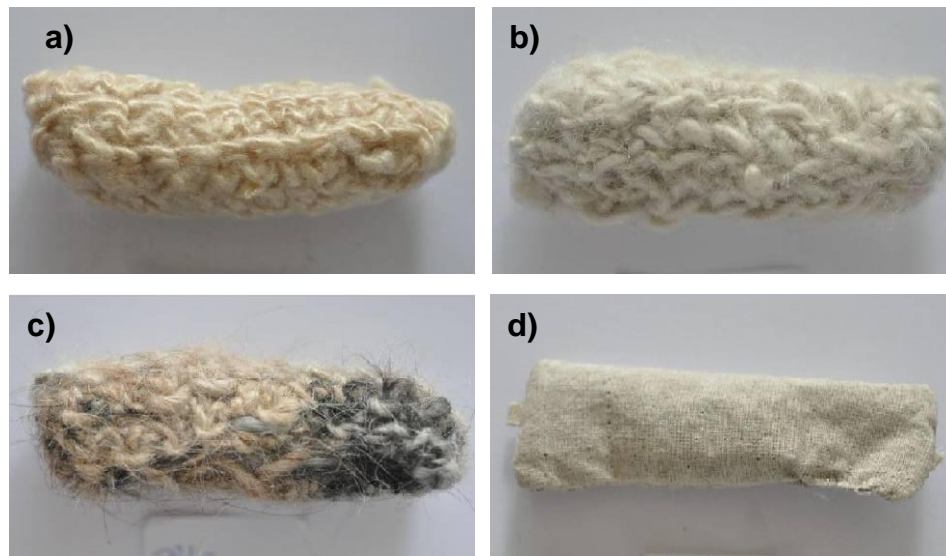


FIGURA 25 - Mini-barreiras de contenção: Paina (a), pêlo de Poodle branco (b), pêlo misturado (c) e turfa com revestimento de algodão (d)

### 5.3 TESTE DE SORÇÃO SECA EM PETRÓLEO

Para os testes de sorção seca, sem a presença de água, utilizando petróleo e amostras tecidas com fios de paina (Tabela 2), pêlo de poodle branco (

Tabela 3), pêlo de cachorro de raças diversas (Tabela 4) e manta de polipropileno (Tabela 5) foram obtidos os seguintes resultados:

TABELA 2 - Capacidade de sorção em petróleo de tapetes formados com fios de Paina

Tempo	Nº	S <sub>0</sub>	S <sub>t</sub>	$S = (S_t - S_0)/S_0$	Média g óleo/g sorvente
5 min	7	0,03	0,38	9,96	10,49
	8	0,05	0,64	12,66	
	9	0,16	1,61	8,85	
15 min	17	0,31	2,52	7,15	8,22
	18	0,1	0,9	8,36	
	19	0,18	1,82	9,15	
30 min	27	0,04	0,48	11,17	9,3
	8	0,18	1,65	7,98	
	29	0,18	1,76	8,75	
60 min	37	0,04	0,52	12,05	8,99
	38	0,34	2,58	6,51	
	39	0,21	1,96	8,4	

TABELA 3 - Capacidade de sorção em petróleo de tapetes formados com fios de pêlos de Poodle branco

Tempo	Nº	S <sub>0</sub>	S <sub>t</sub>	$S = (S_t - S_0)/S_0$	Média g óleo/g sorvente
5 min	4	0,12	0,98	7,45	7,78
	5	0,11	1,02	7,99	
	6	0,09	0,84	7,9	
15 min	14	0,22	1,46	5,59	6,68
	15	0,12	1,03	7,7	
	16	0,11	0,87	6,76	
30 min	24	0,08	0,79	8,87	9,39
	25	0,08	0,98	11,29	
	26	0,12	1,08	8,02	
60 min	34	0,11	0,89	6,93	6,72
	35	0,12	1,01	7,55	
	36	0,14	0,94	5,68	

TABELA 4 Capacidade de sorção em petróleo de tapetes formados com fios de pêlos de cachorro de raças diversas

Tempo	Nº	S <sub>0</sub>	S <sub>t</sub>	$S = (S_t - S_0)/S_0$	Média g óleo/g sorvente
5 min	1	0,11	0,74	5,5	5,66
	2	0,16	1,09	5,96	
	3	0,11	0,73	5,53	
15 min	11	0,16	1,02	5,27	5,26
	12	0,17	1	4,99	
	13	0,13	0,82	5,52	
30 min	21	0,13	0,73	4,57	4,63
	22	0,14	0,97	5,95	
	23	0,25	1,09	3,38	
60 min	31	0,14	0,75	4,47	4,76
	32	0,13	0,98	6,32	
	33	0,36	1,59	3,48	

TABELA 5 - Capacidade de sorção em petróleo amostras de sorvente comercial em forma de manta

Tempo	$S_0$	$S_t$	$S = (S_t - S_0)/S_0$	Média g óleo/g sorvente
5 min	0,17	1,48	7,72	7,74
	0,13	1,14	7,76	
	0,11	0,99	7,74	
15 min	0,14	1,13	7,1	7,12
	0,12	0,98	7,12	
	0,11	0,90	7,14	
30 min	0,15	1,23	7,05	7,02
	0,13	1,05	7,11	
	0,16	1,26	6,9	
60 min	0,12	1,00	7,33	7,45
	0,15	1,29	7,57	
	0,11	0,97	7,45	

Foram relacionados os resultados a capacidade média de sorção das amostras com o tempo, conforme descrito na Figura 26:

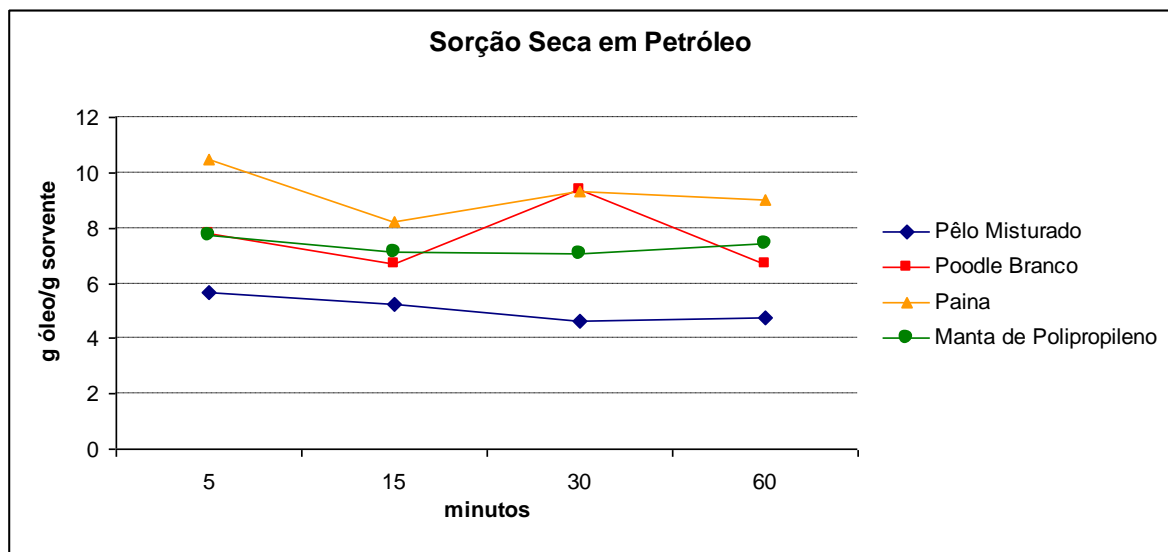


FIGURA 26 - Gráfico: Capacidade média de sorção seca de Petróleo com o tempo

A sorção média, entre todos os tempos foi de 5,07 g de petróleo por grama de fibras de cachorro de raças diversas (pêlo Misturado), 7,6 g de petróleo por grama de pêlo de poodle branco, 9,2 g de petróleo por grama de paina e 7,3 g de petróleo por grama de manta de polipropileno (BARA et al, 2010). Os resultados da capacidade de sorção da manta de polipropileno conferem com os valores do

fornecedor, cujo intervalo de capacidade de adsorção de óleo está descrito entre 7 a 12 vezes o seu peso (ECOSAFE, 2010).

#### 5.4 TESTE DE SORÇÃO SECA EM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO

Nas tabelas a seguir estão os resultados da sorção seca em óleo mineral isolante, sem a presença de água, para as amostras em forma de tapete de Paina (Tabela 6) de pêlo de Poodle Branco (Tabela 7), pêlo de cachorro de raças diversas (pêlo misturado - Tabela 8) e manta de polipropileno (Tabela 9).

TABELA 6 - Capacidade de sorção de amostras de tapetes de Paina em óleo mineral isolante

Tempo	Nº	S <sub>0</sub>	S <sub>t</sub>	$S = (S_t - S_0)/S_0$	Média g óleo/g sorvente
5 min	47	0,02	0,36	16,84	12,67
	48	0,03	0,34	12,15	
	49	0,17	1,72	9,02	
15 min	57	0,03	0,33	9,28	7,89
	58	0,15	1,42	8,28	
	59	0,31	2,21	6,11	
30 min	67	0,03	0,36	10,67	9,5
	68	0,27	2,53	8,3	
	69	0,22	2,27	9,54	
60 min	77	0,03	0,45	12,46	11,02
	78	0,19	2,26	11,06	
	79	0,16	1,7	9,54	

TABELA 7 - Capacidade de sorção de amostras de tapetes de pêlos de Poodle branco em óleo mineral isolante

Tempo	Nº	S <sub>0</sub>	S <sub>t</sub>	$S = (S_t - S_0)/S_0$	Média g óleo/g sorvente
5 min	44	0,36	1,97	4,47	4,12
	45	0,33	1,81	4,43	
	46	0,38	1,7	3,46	
15 min	54	0,27	1,55	4,68	4,29
	55	0,23	1,25	4,52	
	56	0,39	1,84	3,68	
30 min	64	0,28	1,44	4,23	4,27
	65	0,32	1,44	3,44	
	66	0,22	1,36	5,14	
60 min	74	0,07	0,6	8,09	5,29
	75	0,48	2,31	3,8	
	76	0,38	1,92	3,99	

TABELA 8 - Capacidade de sorção de amostras de tapetes de pêlos de cachorro de raças diversas em óleo mineral isolante

Tempo	Nº	S <sub>0</sub>	S <sub>t</sub>	$S = (S_t - S_0)/S_0$	Média g óleo/g sorvente
5 min	41	0,09	0,6	5,76	5,09
	42	0,1	0,59	4,68	
	43	0,1	0,61	4,83	
15 min	51	0,07	0,46	5,9	5,07
	52	0,08	0,45	4,37	
	53	0,08	0,45	4,92	
30 min	61	0,1	0,62	5,43	5,07
	62	0,15	0,93	5,02	
	63	0,11	0,61	4,76	
60 min	71	0,09	0,58	5,28	4,95
	72	0,13	0,82	5,35	
	73	0,19	0,99	4,22	

TABELA 9 - Capacidade de sorção de amostras de sorvente comercial em forma de manta em óleo mineral isolante

Tempo	S <sub>0</sub>	S <sub>t</sub>	$S = (S_t - S_0)/S_0$	Média g óleo/g sorvente
5 min	0,13	0,96	6,4	6,46
	0,11	0,83	6,52	
	0,08	0,61	6,46	
15 min	0,09	0,57	5,31	5,22
	0,12	0,69	5,22	
	0,11	0,67	5,13	
30 min	0,1	0,70	5,91	5,91
	0,09	0,63	5,98	
	0,13	0,89	5,84	
60 min	0,11	0,84	6,63	6,59
	0,14	1,06	6,55	
	0,09	0,66	6,59	

Relacionando a capacidade de sorção média em gramas de óleo por gramas de sorvente em função do tempo, foi possível construir o gráfico representado na Figura 27 .

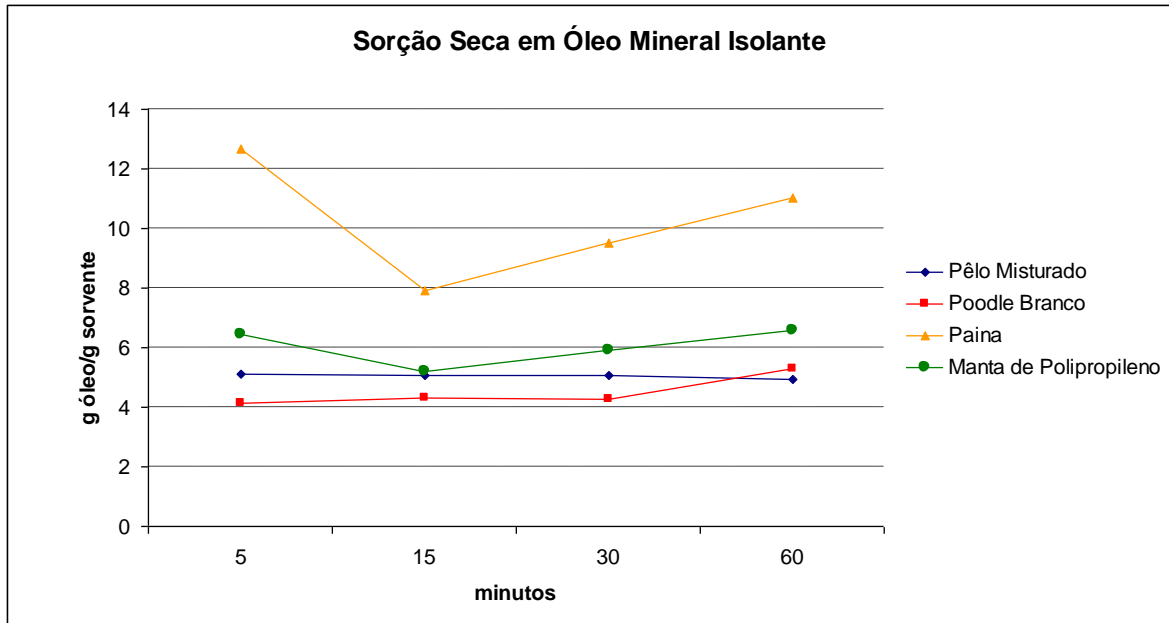


FIGURA 27 - Gráfico: Capacidade média de sorção de óleo mineral isolante com o tempo

A sorção média, entre todos os tempos foi de 5,04 g de OMI por grama de fibras de cachorro de raças diversas (pêlo Misturado), 4,49 g de OMI por grama de pêlo de poodle branco, 10,2 g de OMI por grama de paina e 6,04 g de OMI por grama de manta de polipropileno (BARA *et al*, 2010). Os resultados da capacidade de sorção da manta de polipropileno com óleo mineral isolante usado, ficaram abaixo do intervalo descrito pelo fornecedor, cujo intervalo de capacidade de adsorção de óleo está entre 7 a 12 vezes o seu peso (ECOSAFE, 2010).

### 5.5 TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM PETRÓLEO

Para que a posição da amostra em relação ao meio óleo/água não interfira nos resultados, visto que o óleo permanece na parte superior da mistura, em função da sua densidade, foi utilizada a velocidade média de rotação (na posição 5), para criação do vórtex. Em ensaios com velocidade inferior, as amostras permaneceram flutuando sobre a mistura, diminuindo o contato com o óleo resultando em erro na capacidade de sorção, com valores muito pequenos. Visualmente, as amostras confeccionadas com paina e as provenientes de pêlo de poodle branco, imediatamente retiradas do béquer não necessitavam de escoamento do excesso de óleo nem água (Figura 28), indicando uma maior capacidade de limpeza, em função da disposição final das amostras e seus respectivos conteúdos líquidos. Um

comportamento contrário foi verificado na amostra de pêlo misturado (conforme Figura 28c).

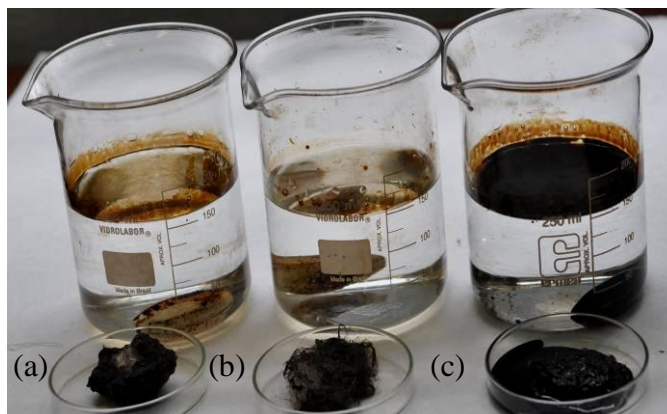


FIGURA 28 - Amostras após a sorção dinâmica do petróleo: paina (a), pêlo de poodle branco (b) e pêlo de cachorro de raças diversas(c).

O comportamento dos diferentes materiais sorventes percebido visualmente foi comprovado durante a coleta dos resultados com o cálculo de sorção total (Equação 2). A Tabela 10 mostra a média dos valores obtidos para os diferentes materiais e o desvio padrão.

TABELA 10 - Média dos valores de sorção para ensaio dinâmico com petróleo.

Amostra	Média [g óleo/ g sorvente]	Desvio Padrão
Pêlo misturado	3,0446	0,2568
Poodle branco	3,2192	0,2652
Paina	6,1673	0,4776
Manta de Polipropileno	6,0808	1,6950
Tecido de Algodão	1,8964	0,3476
Turfa + Algodão	2,8968	0,5784

A paina superou todas as outras amostras na capacidade de sorção de petróleo, com média de 6,1673 gramas de petróleo por gramas de paina. Foi o único material alternativo que superou os resultados da manta de polipropileno.

As amostras de pêlo de poodle branco e pêlo de cachorro misturado superaram as amostras de turfa com revestimento de algodão.

A capacidade de cada amostra em sorção/retenção de petróleo é descrita em gramas de óleo por gramas de sorvente, segundo a Equação 2.

Utilizando a média dos valores de sorção/retenção do petróleo e o correspondente desvio padrão foi elaborado um gráfico de dispersão (Figura 29).

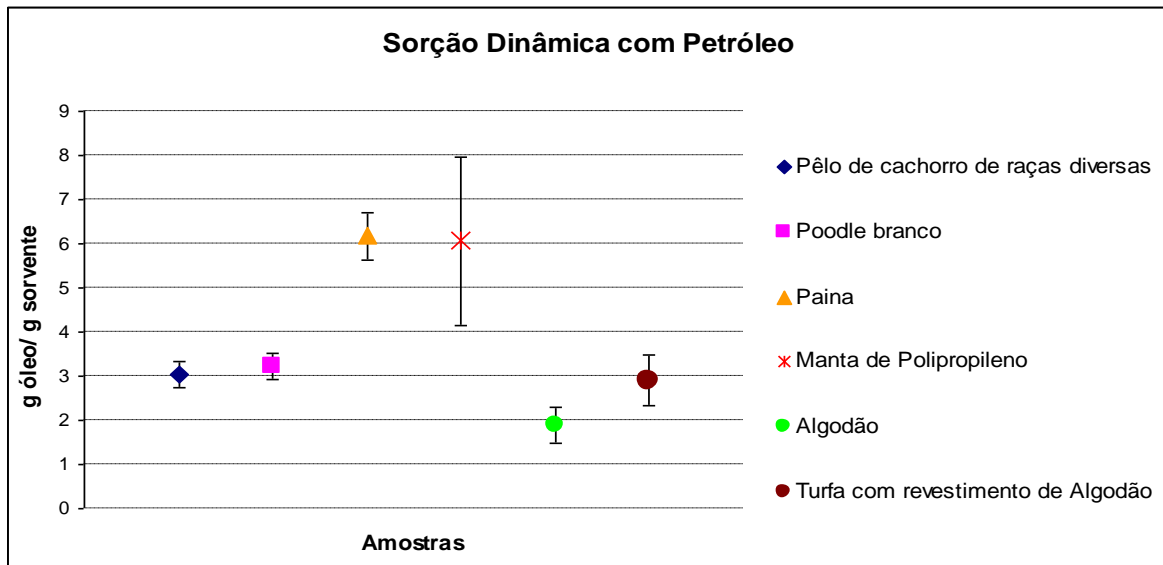


FIGURA 29 - Sorção total das amostras considerando o desvio padrão.

As amostras provenientes da manta de polipropileno foram desagregadas (desintegrou) durante o processo de destilação (4.7 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA RETIDO PELAS AMOSTRAS), o que dificultou o procedimento, sendo um dos fatores que influenciaram o desvio padrão elevado nos resultados de sorção (Figura 29). Em função disso, foram adicionadas novas amostras de controle: tecido de algodão e turfa com revestimento de algodão.

Os resultados de todas as amostras utilizadas neste ensaio estão descritos nos apêndices ( APÊNDICE 1 – TABELA 17).

## 5.6 TESTE DE SORÇÃO DINÂMICA COM ÓLEO MINERAL ISOLANTE USADO

No teste com Petróleo foi criado o vórtex proposadamente, com o aumento da velocidade de agitação que proporcionou um maior contato da amostra com a água oleosa, permitindo uma maior sorção de óleo pela amostra.

Conforme a Equação 2 associando aos resultados do item 5.7 (TEOR DE ÁGUA RETIDO NAS AMOSTRAS), foi possível verificar a capacidade média de sorção/retenção de óleo e calcular o desvio padrão (Tabela 11) para sorção de Óleo Mineral Isolante.

TABELA 11 - Sorção dinâmica em Óleo Mineral Isolante usado

<b>Amostra</b>	<b>Média [g óleo/g sorvente]</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Pêlo de cachorro de raças diversas	4,2430	1,4399
Poodle Branco	5,0901	0,4200
Paina	8,1945	2,2634
Manta de Polipropileno	6,0557	1,9513
Tecido de Algodão	1,8848	0,1491
Turfa com revestimento de algodão	4,0171	0,2535

O algodão apresentou capacidade de sorção em óleo mineral isolante inferior à capacidade de sorção em petróleo, ao contrário das outras amostras.

A paina superou todas as amostras na capacidade de sorção/retenção de óleo, apresentando capacidade de sorção média de 8,1945 gramas de óleo mineral isolante por grama de paina. Este resultado superou inclusive, o resultado obtido para ensaios com petróleo (TABELA 10).

A capacidade de sorção média das amostras de pêlo de poodle branco em óleo mineral isolante foi superior ao da turfa com revestimento de algodão e as amostras de pêlo de cachorro de raças diversas, obtendo valores muito próximos dos obtidos pela manta de polipropileno, com diferença de 0,9656g (inferior ao desvio padrão da manta de polipropileno).

As amostras de pêlo de cachorro de raças diversas apresentaram resultados superiores ao da turfa com revestimento de algodão, com capacidade média de sorção de 4,2430 gramas de óleo mineral isolante por gramas de pêlo de cachorro de raças diversas. Um dos fatores que pode ter influenciado o elevado desvio padrão das amostras de pêlo de cachorro de raças diversas (pêlo misturado), é a heterogeneidade das fibras.

Estes resultados estão representados no gráfico de dispersão a seguir (Figura 30) :

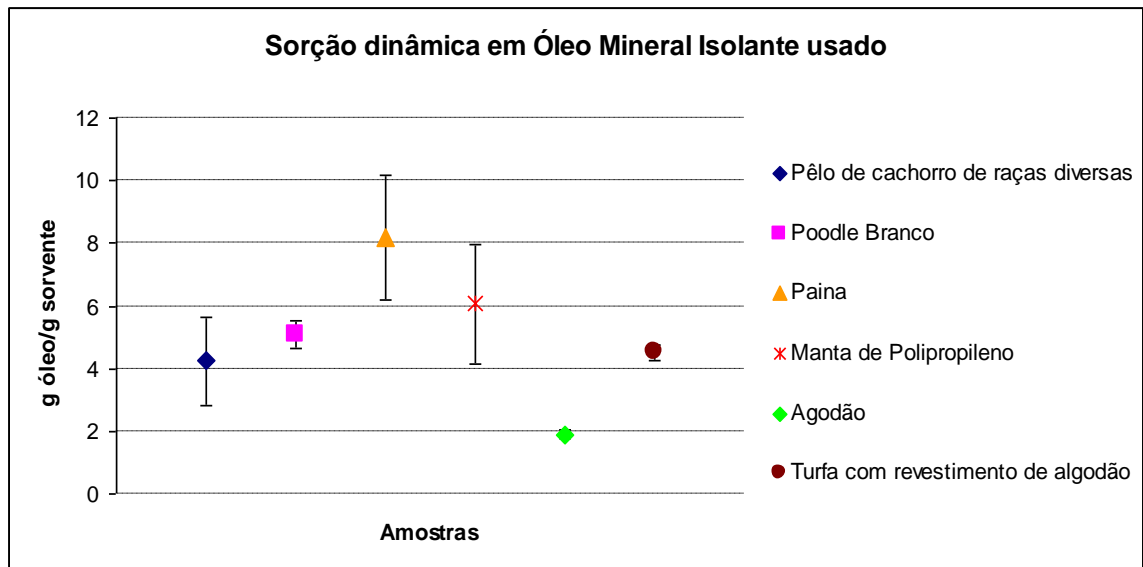


FIGURA 30 - Gráfico: Sorção dinâmica em Óleo Mineral Isolante usado

Neste caso, além das amostras provenientes da manta de polipropileno, as amostras de paina e pêlo de cachorro de raças diversas apresentaram elevado desvio padrão (comparado aos resultados das outras amostras). Verificando a imagem das amostras antes do ensaio é possível verificar uma elevada espessura do fio (Figura 31),

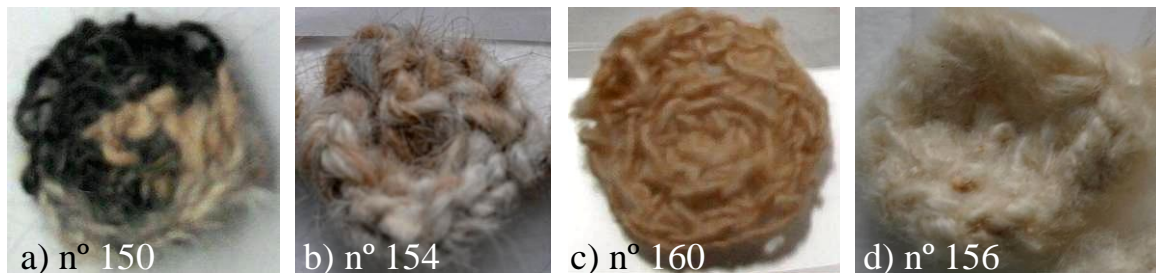


FIGURA 31 - Amostras n°: 150 (a), 154 (b), 160 (c) e 156 (d)

As amostras n° 150 e n° 154 são de pêlo de cachorro de raças diversas, onde a amostra n° 154 foi obtida de fio com maior gramatura. As amostras n° 160 e n° 156 são de paina, sendo a amostra n° 156, a de maior gramatura.

Estes resultados sugerem que a capacidade de sorção/retenção de óleo pelas fibras em forma de tapete, é diretamente proporcional a gramatura do fio. Neste caso, as amostras provenientes de fios com maior gramatura (gramas por metro) obtiveram resultados inferiores e o desvio padrão foi maior.

Os resultados de todas as amostras estão descritos nos Apêndices (Tabela 18).

## 5.7 TEOR DE ÁGUA RETIDO NAS AMOSTRAS

O teor de água retido em cada amostra define a quantidade de óleo sorvido pelas fibras. Estes dados estão diretamente associados à hidrofobicidade de cada material.

Devido à estrutura física da turfa, é necessária a utilização de um material para revestimento, assim os resultados descritos para a turfa foram obtidos pela diferença dos resultados do algodão e da turfa com revestimento de algodão.

Após o processo de destilação, os resultados correspondentes aos testes de sorção dinâmica em Petróleo, referente ao teor de água retido no coletor durante o processo de destilação, estão descritos na TABELA 12:

TABELA 12 - Teor de água retido nas amostras durante o teste de sorção dinâmica utilizando Petróleo

<b>Amostra</b>	<b>Média [g]</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>% água no total de sorção</b>
Pêlo Misturado	0,4625	0,2926	13,19
Poodle Branco	0,3375	0,1887	9,49
Paina	0,1700	0,1249	2,68
Manta de Polipropileno	0,0667	0,0577	1,09
Tecido de Algodão	0,0250	0,0500	1,30
Turfa + Algodão	0,0666	0,0577	2,25

As amostras constituídas por fibras de pêlos de cachorro de raças diversas (pêlo misturado), apresentaram maior porcentagem de água em relação ao total de material sorvido, 13,19%. O algodão apresentou os menores valores de retenção de água porém, na relação com o total de material sorvido, a manta de polipropileno apresentou o menor teor, 1,09% de água do total de material retido na amostra, após o ensaio de sorção. Este resultado é o esperado uma vez que o polipropileno é um material apolar enquanto as fibras naturais, dependendo do teor de ceras e de celulose, podem apresentar um comportamento hidrofílico ou hidrofóbico.

Na Tabela 13, constam os resultados do teor de água, proporção em relação ao total de material retido na amostra relacionando com a sorção de óleo e a sorção total (água com óleo), conforme Tabela 10.

TABELA 13 - Comparativo dos resultados de sorção total e teor de água retido pelas amostras após ensaios com petróleo

<b>Amostra</b>	<b>Sorção total [g/g sorvente]</b>	<b>Sorção óleo [g óleo/g sorvente]</b>	<b>Sorção água [g]</b>	<b>% água no total de sorção</b>
Pêlo Misturado	3,5071	3,0446	0,4625	13,19
Poodle Branco	3,5567	3,2192	0,3375	9,49
Paina	6,3373	6,1673	0,1700	2,68
Manta de Polipropileno	6,1224	6,0557	0,0667	1,09
Algodão	1,9214	1,8964	0,0250	1,30
Turfa + algodão	2,9634	2,8968	0,0666	2,25
Turfa	1,0420	1,0004	0,0416	3,99

A manta de polipropileno teve o menor índice de água retida, 1,09%, porém a paina apresentou os melhores resultados de retenção de óleo, 6,16 gramas de petróleo por gramas de paina.

Os tapetes formados por pêlo de cachorro de raças diversas, apresentaram 13,19% de água do total de material sorvido, compreendendo o maior índice de água nos ensaios dinâmicos com petróleo, mesmo assim apresentou capacidade de sorção/retenção de óleo superior ao algodão, a turfa e a turfa com revestimento de algodão. Considerando que a turfa com revestimento de algodão é um material atualmente difundido para utilização comercial como sorvente de óleo, os tapetes formado por pêlo de cachorro de raças diversas, obteve um desempenho superior a este material comercialmente utilizado.

As amostras de pêlo de cachorro poodle, na cor branca, apresentaram resultados inferiores somente em relação à paina e à manta de polipropileno, superando os outros materiais.

Os resultados dos ensaios de sorção dinâmica em óleo mineral isolante usado estão apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 - Teor de água presente nas amostras após o teste de sorção dinâmica em óleo mineral isolante usado

<b>Amostra</b>	<b>Média [g]</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>% água no total de sorção</b>
Pêlo Misturado	0,2333	0,2082	5,21
Poodle Branco	0,0667	0,1155	1,29
Paina	0,0000	0,0000	0,00
Manta de Polipropileno	0,0333	0,0577	0,55
Algodão	0,0000	0,0000	0,00
Turfa + Algodão	0,0333	0,0577	0,82

As amostras que mais se destacaram foram as de paina e algodão, que não apresentaram teor de água retido após ensaio, contudo a paina apresenta a maior capacidade de sorção de óleo, 8,1945 gramas de OMI por grama de paina (Tabela 11 e Tabela 15) contra 1,8848 gramas de OMI por grama de algodão.

Todas as amostras apresentaram resultados de teor de água, inferiores aos encontrados nos testes de sorção dinâmica com petróleo.

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados dos testes de sorção dinâmica com óleo mineral isolante e os respectivos teores de água.

Tabela 15 - Comparativo dos resultados de sorção total e teor de água retido pelas amostras após os ensaios com óleo mineral isolante

Amostra	Sorção total [g/g sorvente]	Sorção óleo [g óleo/g sorvente]	Sorção água [g]	% água no total de sorção
Pêlo Misturado	4,4763	4,2430	0,2333	5,21
Poodle Branco	5,1567	5,0901	0,0667	1,29
Paina	8,1945	8,1945	0,0000	0,00
Manta de Polipropileno	6,0890	6,0557	0,0333	0,55
Algodão	1,8848	1,8848	0,0000	0,00
Turfa + algodão	4,0504	4,0171	0,0333	0,82
Turfa	2,1323	2,1323	0,0000	0,00

As amostras de pêlo de cachorro misturado, assim como no ensaio dinâmico em petróleo, apresentaram o maior índice de teor de água, 5,21% em relação ao total de material sorvido nos ensaios dinâmicos com óleo mineral isolante bem como superou a capacidade de sorção/retenção de óleo das amostras de algodão, turfa com revestimento de algodão e a somente turfa.

## 5.8 SISTEMA HÍDRICO SIMULADO

Conforme a Figura 32 todas as amostras, em forma de tapete, flutuaram na solução água destilada com petróleo e seguiram a correnteza.

Porém, como as amostras permaneceram flutuando na água durante todo o teste, e o filme de óleo ficou na parte inferior da amostra e em sua volta, houve restrição do contato dos tapetes com a água, resultando assim em uma diferença mínima no peso da amostra antes e depois do ensaio.

Foram testados tempos superiores a 30min (1h e 2h), mas ainda assim não houve diferença no peso maior que 0,0099g.

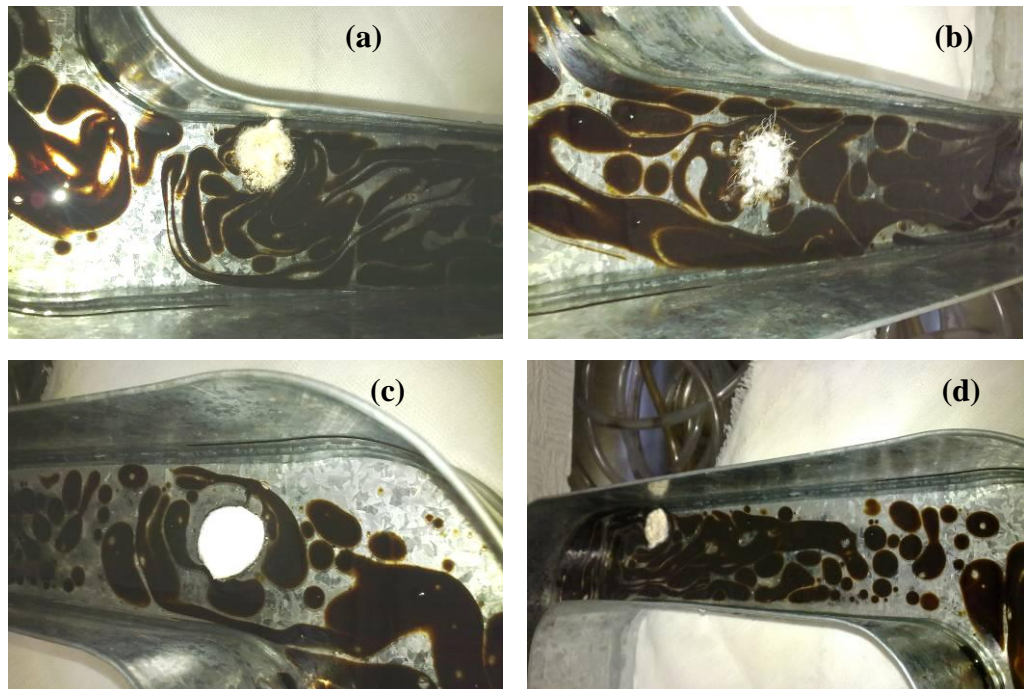


FIGURA 32 - Amostras durante o teste no Sistema Hídrico Simulado: paina (a), pêlo de cachorro de raças diversas (b), polipropileno em forma de manta (c) e pêlo de poodle branco (d).

Em função disso, nenhuma das amostras apresentou teor de água igual ou superior a 0,1 mL nos testes para verificação do teor de água, valor mínimo possível de ser verificado no coletor durante a destilação. Além disso, somente a parte inferior das amostras entrou em contato com o petróleo, o que gerou valores pequenos de sorção de óleo resultantes da diferença do peso inicial com o peso após a sorção e desvio padrão elevado. Assim, os testes preliminares mostraram que as mantas tecidas devem ser forçadas a entrar em contato com a água para que de fato sorvam o óleo em sua plena capacidade de sorção. Em função disso, foram confeccionadas as amostras em forma de mini-barreira de contenção (Figura 25).

As mini-barreiras de contenção foram fixadas em suas extremidades no suporte do sistema hídrico, porém o filme de óleo ficou estagnado mesmo com a circulação de água por baixo, o que também não gerou sorção de óleo pelas amostras em volume considerável.

## 5.9 MICROSCOPIA

### 5.9.1 Óptica

As imagens das amostras em forma de tapete, utilizadas nos testes de sorção dinâmica de petróleo estão representadas na Figura 33:

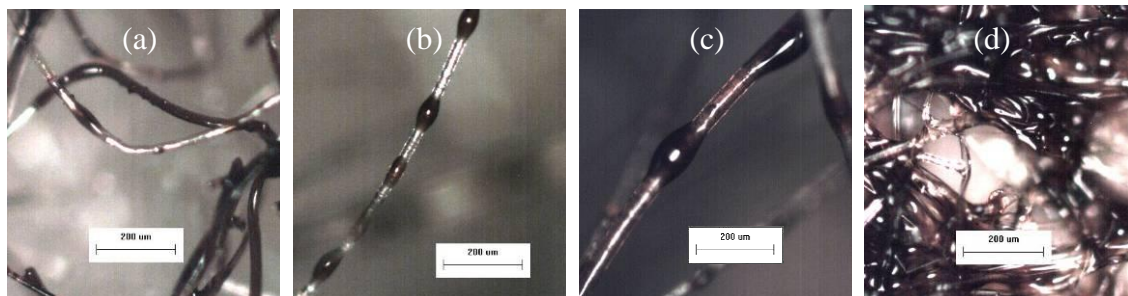


FIGURA 33 - Ampliação 500x: paina (a), pêlo de poodle branco (b), pêlo de cachorro de raças diversas (c) e polipropileno em forma de manta (d)

Observa-se na Figura 33, a forma com que o óleo reveste as fibras de cada amostra. A forma do óleo no recobrimento das fibras mostra a afinidade do óleo com as amostras. Quanto mais espalhado (linear) o óleo sobre a fibra, menor a tensão superficial e maior a compatibilidade do óleo e da fibra, o que ocorre com as fibras de paina e as fibras da manta de polipropileno, amostras que apresentaram os melhores resultados de sorção/retenção de óleo.

O recobrimento em forma esférica reflete uma maior tensão superficial e a menor compatibilidade, o que está evidenciado na imagem da fibra de tapete de pêlo de cachorro de raças diversas, que dentre as fibras analisadas pela microscopia óptica, obteve os menores resultados na capacidade de sorção de óleo.

Em função das características morfológicas da turfa, não foi possível obter imagens do recobrimento do óleo. Para este equipamento em específico, a limitação da cor influenciou em resultados imprecisos para as amostras de óleo mineral isolante. Porém, relacionando com os resultados de sorção, acredita-se que a forma como o óleo mineral isolante envolveu as fibras seja semelhante à forma como o petróleo revestiu, pois esta afinidade com a fibra está associada às relações de ponte de hidrogênio, ou seja, a afinidade entre um composto polar com um apolar (ATKINS, 2006). As imagens obtidas no microscópio óptico Zeiss, com ampliação de 100x para as amostras em forma de mini-barreiras de contenção, utilizadas nos testes em sistema hídrico simulado, estão descritas na Figura 34:

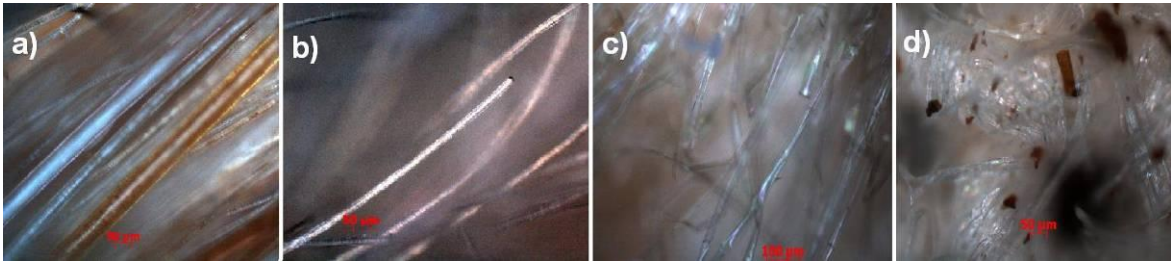


FIGURA 34 – Ampliação 100X: amostra de tapete de pêlo de raças diversas (a), poodle branco (b), paina (c) e algodão (d).

A amostra de pêlo misturado, possui fibras de cores diversas e foi possível verificar pela análise das imagens de microscopia eletrônica que o diâmetro das fibras também é variado (Figura 34a) diferente das fibras de pêlo de poodle branco (Figura 34 b). Pelo processo de fiação das amostras de tapete de pêlo de cachorro de raças diversas, poodle branco e paina, as fibras aparecem orientadas. Mesmo utilizando somente o revestimento da barreira de contenção há a presença de turfa entre as fibras (Figura 34d). A baixa sorção das amostras no teste em sistema hídrico simulado dificultou a geração das imagens com a presença do óleo.

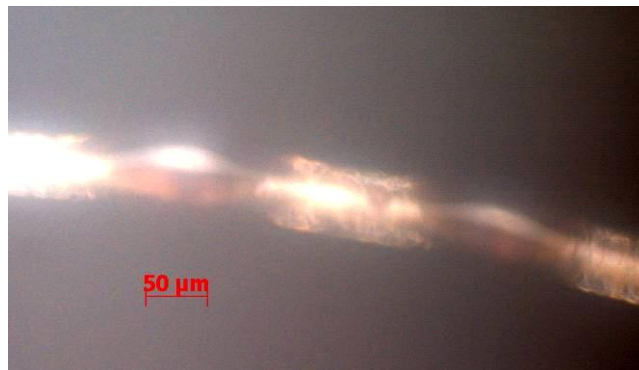


FIGURA 35 – Mini-barreira: poodle branco com petróleo, ampliação 200X

O petróleo recobriu a fibra de poodle branco, formando aproximadamente uma elipse (Figura 35), como observado nas imagens de microscopia óptica realizadas com o equipamento Olympus para as amostras em forma de tapete utilizadas no testes de sorção dinâmica. O óleo revestiu a fibra de pêlo de cachorro de raças diversas, na forma de uma elipse mais evidenciada (Figura 36 a), enquanto que na paina está revestindo a fibra de forma linear, o que exemplifica os melhores resultados de capacidade de sorção de petróleo (Figura 36 b).

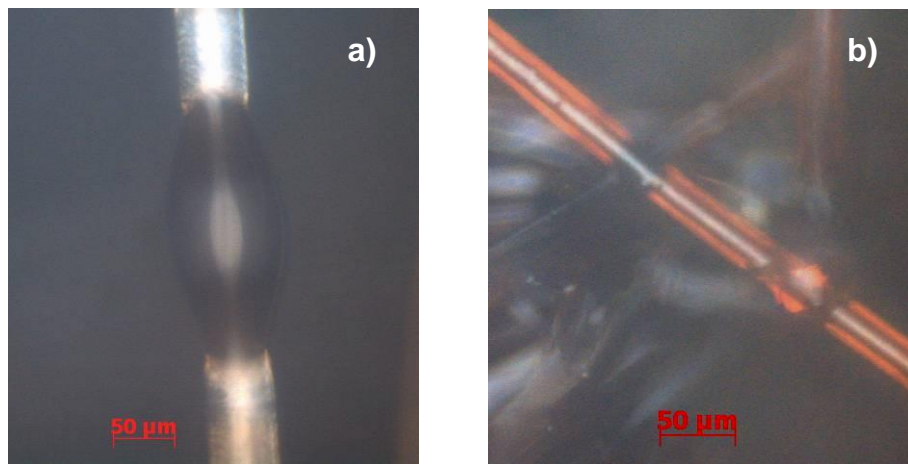


FIGURA 36 - Mini-barreira com petróleo, ampliação em 200X: pêlo de cachorro de raças diversas (a) e paina (b)

Não foi possível utilizar nenhuma imagem com a presença de óleo mineral isolante pela dificuldade na visualização. A coloração escura do petróleo facilitou a identificação das imagens no microscópio óptico, ao contrário das amostras com óleo mineral isolante, que é muito claro.

#### 5.9.2 ELETRÔNICA DE VARREDURA

Foram analisadas amostras de fio de paina, poodle branco e de pêlo de cachorro de raças diversas, sem a presença de óleo ou água. Em função das características do equipamento que utiliza vácuo e feixe de elétrons não foi possível realizar as imagens de amostras com a presença de óleo ou água.

Os pelos são formados por queratina, uma proteína fibrosa que possui características de elasticidade e impermeabilidade à água (AMABIS e MARTHO, 1994), o que contribui para sua hidrofobicidade. Porém os pêlos de raças diversas são provenientes do descarte de tosa periódica de Pet shop, onde o fator lavagem do pêlo antes da tosa depende do tamanho do cachorro, pois cachorros de porte maior são tosados antes do banho. Há dificuldade em determinar a proporção de pêlo com resíduo de surfactante proveniente de lavagem, fator determinante na capacidade de sorção pois os pêlos lavados não possuem a gordura natural do animal que tem mais afinidade pelo óleo do que pela água.

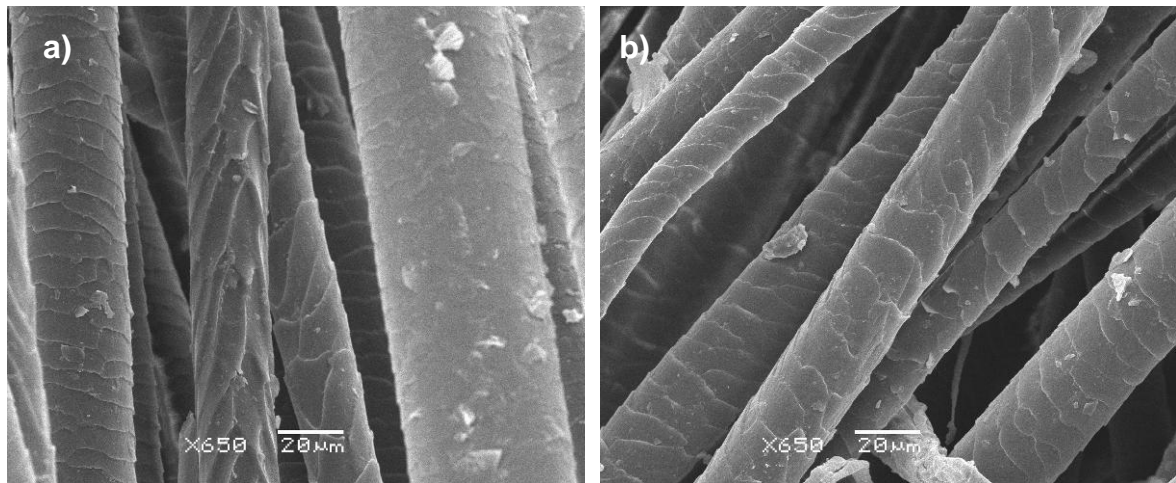


FIGURA 37 - MEV ampliação 650X: pêlo de cachorro de raças diversas (a) e pêlo de poodle branco (b)

Os pêlos de raças diversas apresentam diâmetros da fibra diferentes, quantidade e forma de escamas diferentes, isso se deve à heterogeneidade das fibras.

Seria de se esperar que o algodão, material com alto teor de celulose, absorvesse mais água do que a paina, porém considerando os estudos de Annunciado (2005), a paina é constituída de 54,1% de  $\alpha$ -Celulose, 27,5% de hemicelulose, 15,1% de lignina, 3,2% de extrativos, 0,62% de cinzas e 9,2% de umidade.

A paina apresenta 1,5% em teor de ceras que corresponde a 2,5 vezes mais cera se comparado ao teor de cera do algodão.

A  $\alpha$ -Celulose e a lignina se caracterizam pela resistência a agentes oxidantes e susceptibilidade à hidrólise alcalina.

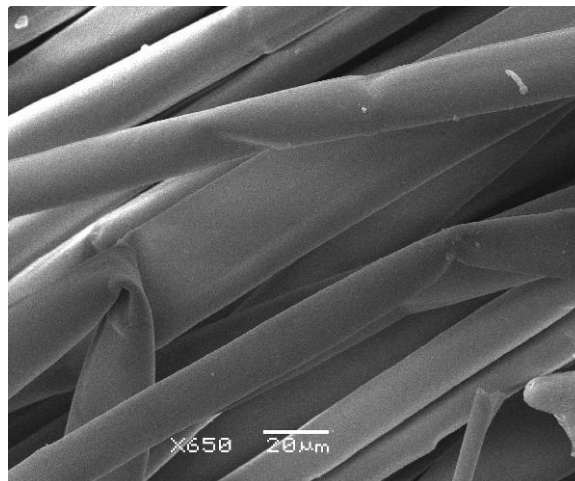


Figura 38 - MEV ampliação 650X: paina

Em relação á característica de presença de estruturas tipo “escamas”, na ampliação de 650X, a paina não apresenta escamas (Figura 38), o pêlo de poodle branco fica num valor intermediário enquanto que o pêlo de cachorro de raças diversas apresenta a maior quantidade de escamas (Figura 37). Esta é a mesma ordem na escala de capacidade de sorção/retenção de óleo, o que sugere que há uma associação entre a presença e número de escamas com a diminuição na capacidade de sorção de óleo. Uma hipótese razoável para explicar este comportamento é que a superfície lisa da paina favorece a sorção de óleo, enquanto superfícies com presença de estruturas do tipo escamas dificultam a sorção devido a um empedimento mecânico. Além disto, os pêlos têm uma composição à base de queratina enquanto a fibra vegetal é um material ligno-celulósico. Finalmente, pode também ser sugerido que pelo fato da paina consistir de filamentos muito finos, um filme de óleo pode ser formado entre as fibras, aumentando a capacidade de sorção deste material (ANNUNCIADO, 2005). A Figura 39 mostra a ampliação em 4000X das fibras de paina e de poodle branco, respectivamente:

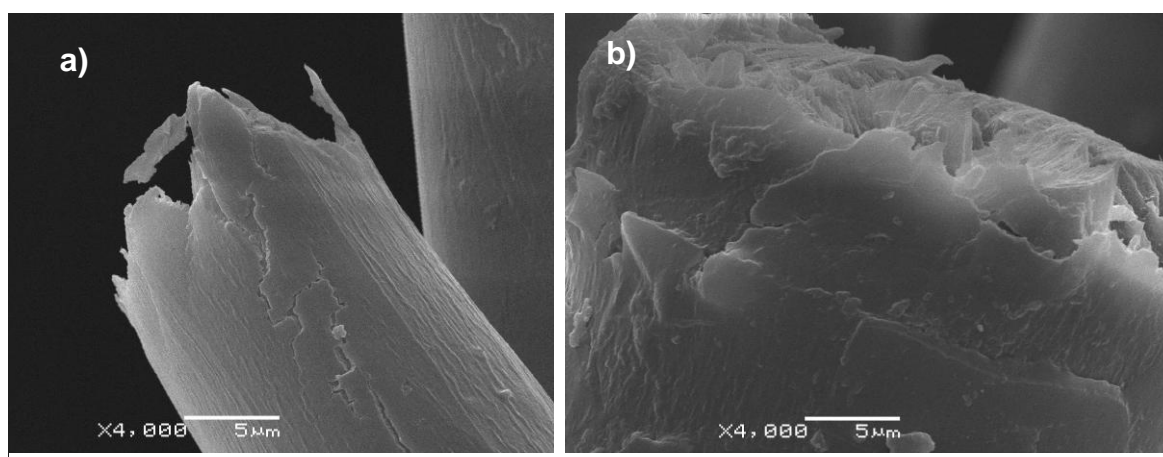


FIGURA 39 - MEV ampliação 4000X: paina (a) e poodle branco (b)

Com o auxílio do programa AxioVision, foram analisadas as imagens com ampliação de 650X, por amostragem foi possível determinar o diâmetro médio das fibras e a distância entre as escamas, conforme apresentado na Tabela 16:

TABELA 16 - Análise das imagens de MEV utilizando o AxioVision

	Diâmetro médio [ $\mu\text{m}$ ]	Distância média entre as escamas [ $\mu\text{m}$ ]
Paina	21,525	-----
Poodle	28,22	9,904
Pêlo Misturado	30,178	7,968

O diâmetro da paina é menor do que das outras fibras, logo em um mesmo volume, haverá mais fibras de paina do que das outras fibras, o que aumenta a área de contato.

Maior distância entre as escamas implica em menor número de escamas em uma mesma área, logo as fibras de pêlo de poodle branco possuem no geral menos escamas do que as fibras de pêlos de cachorro de outras raças. Não é possível afirmar que essa diferença especificamente ocorre também com pêlos de poodle de outras cores, nem em relação a determinadas raças, pois não foi o foco deste estudo, que prioriza a avaliação do desempenho de fibras descartadas de Pet Shop como material sorvente. Mesmo assim, é possível determinar que quanto maior a ocorrência de escamas, menor a capacidade de sorção, não necessariamente este é o fator determinante, visto que há outras relações envolvidas que caracterizam a afinidade do material com o óleo, como a viscosidade do óleo.

Na Figura 40, a imagem de fibras de pêlo de cachorro de raças diversas na ampliação de 650X, com as medidas de diâmetro obtidas pelo programa.

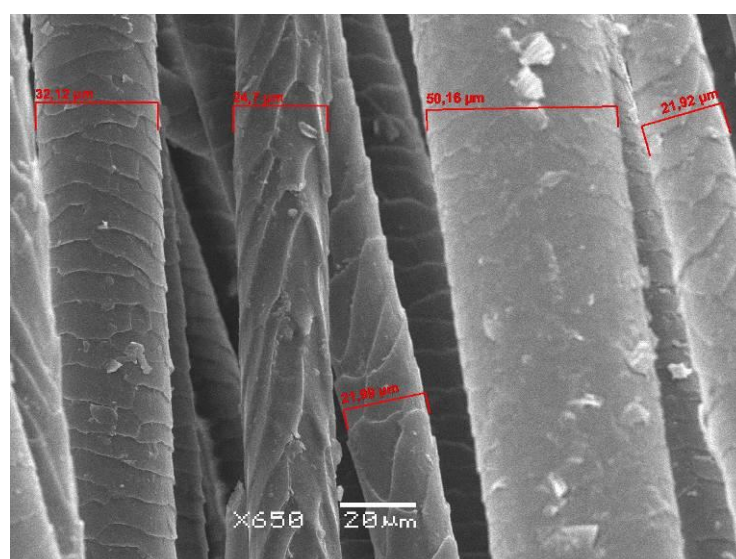


FIGURA 40 - AxioVision: Diâmetro das fibra de cachorro de raças diversas

## 5.10 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE VISCOSIDADE

Utilizando a Equação 3, foram obtidos os valores que estão descritos nos gráficos abaixo (Figura 42 e Figura 42):

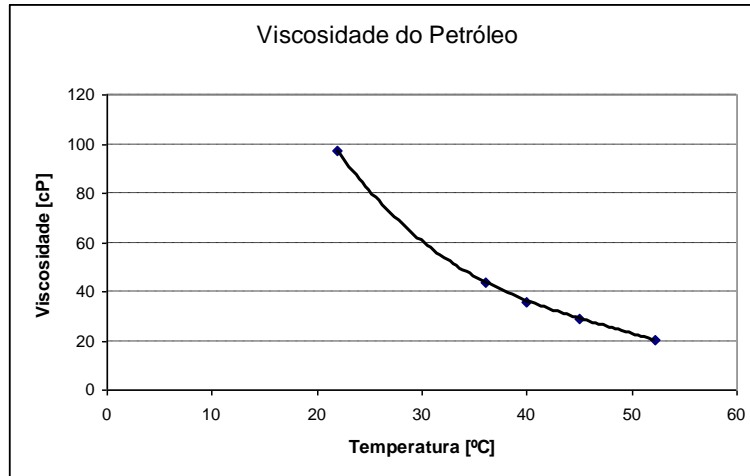


FIGURA 41 - Gráfico: Viscosidade do Petróleo

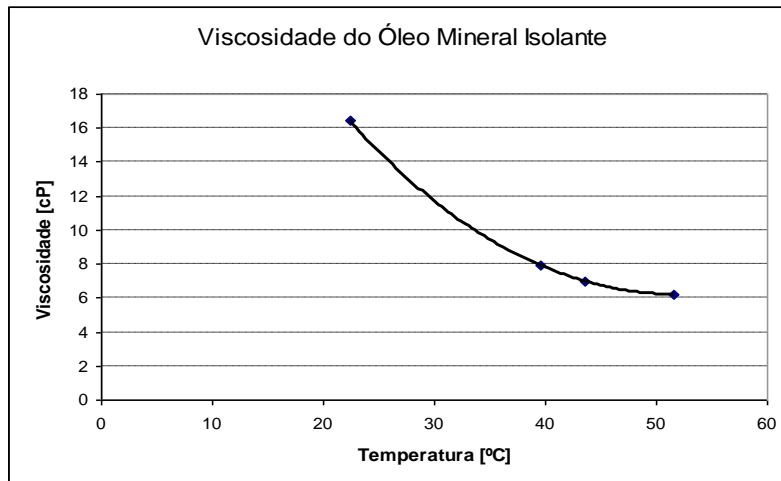


FIGURA 42 - Gráfico: Viscosidade do Óleo Mineral Isolante usado

O petróleo é mais viscoso que o óleo mineral isolante usado, mesmo em temperaturas elevadas, visto que a 50° C o petróleo apresenta uma viscosidade média próxima de 20 [cP] enquanto que o óleo mineral isolante apresenta viscosidade média de 6,2 [cP]. É importante a determinação da viscosidade do óleo pois, diferentes materiais sorventes atuam de forma distinta em óleos viscosos ou menos viscosos. Por exemplo, a paina, tem capacidade de sorção alta em óleos

viscosos enquanto que a *salvília*, tem capacidade de sorção maior em óleos pouco viscosos em função da área de adsorção e facilidade de penetração. O mecanismo de sorção pode variar de acordo com o material sorvente. A paina tende a formar um fino filme de óleo (conforme Figura 43) e à medida que o óleo fica menos viscoso, esse filme se torna mais difícil de ser formado e assim a capacidade de sorção cai. O óleo pouco viscoso tem comportamento mais fluido que o mais viscoso e portanto, seu comportamento mecânico seria o de formar filmes com maior dificuldade do que o óleo de maior viscosidade.

No caso da *salvília*, como o material é poroso, à medida que o óleo se torna mais viscoso a capacidade de sorção cai. No caso dos pêlos de cachorro, os materiais não são porosos e é possível que a tendência seja a da formação do fino filme de óleo, com melhores resultados para óleos mais viscosos.

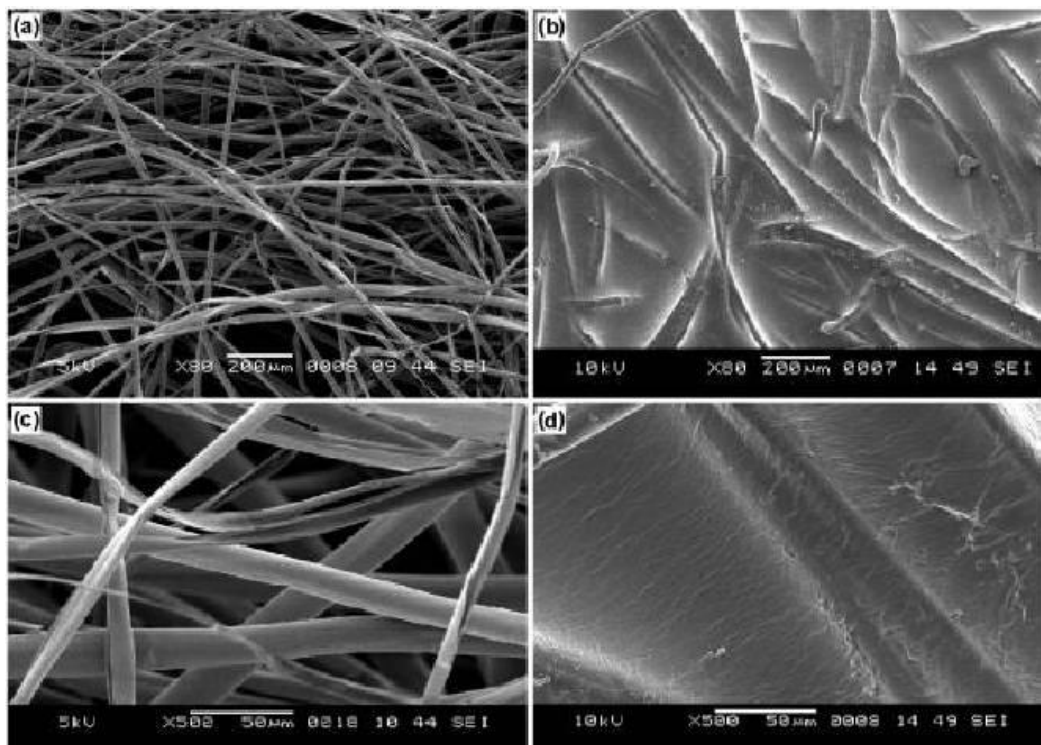


FIGURA 43 - Fotos em microscopia eletrônica de varredura (MEV) das fibras de *Chorisia Speciosa* (a) Ampliação 80 X, fibra in natura; (b) Ampliação 80 X, a fibra após ter sorvido o óleo; (c) Ampliação 500 X, fibra in natura e (d) Ampliação 500 X, fibra após ter sorvido o óleo.

Fonte: ANNUNCIADO, 2005

### 5.11 ENSAIO EM COLUNA DE VIDRO

A utilização das pérolas na montagem do recheio, facilitou a passagem da mistura água/óleo, visto que nos casos onde não foram utilizadas, o óleo formou um filme não possibilitando a passagem da água e não promovendo a passagem da solução pela coluna, não sendo possível a filtração.

Para a coluna com recheio de turfa, não foi necessário a utilização de pérolas de vidro, em função da estrutura física da turfa.

Os resultados obtidos na análise cromatográfica, estão descritos na Figura 44, onde estão também representadas as curvas de tendência dos resultados.

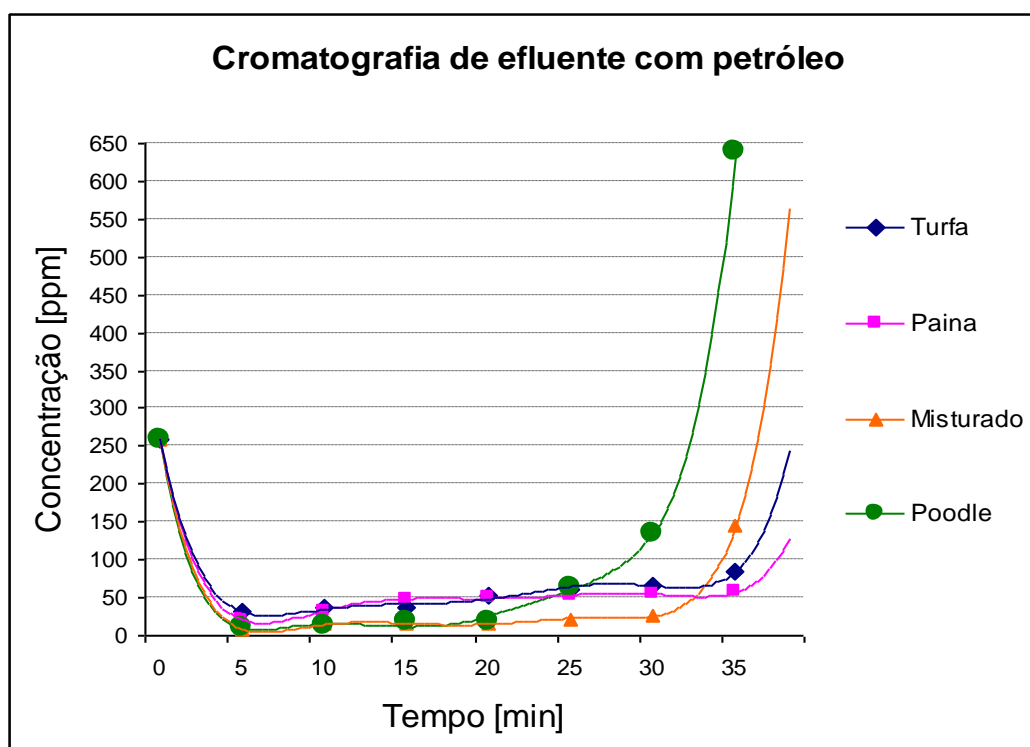


FIGURA 44 - Gráfico: Curva breakthrough dos resultados da análise cromatográfica do efluente com petróleo

Considerando que todas as colunas foram submetidas à limpeza de uma mistura de 1:7 (petróleo/água destilada), ou seja, água contendo aproximadamente 260ppm de óleo, observa-se que:

A coluna com recheio de turfa separou o óleo da água até apresentar concentração mínima de saída de 31,7 ppm, enquanto que a coluna com recheio de paina apresentou uma concentração mínima de saída de 21,5 ppm.

A coluna com recheio de pêlo de poodle branco separou o óleo da água até apresentar concentração mínima de saída de 11,7 ppm e a coluna com recheio de pêlo de cachorro de raças diversas separou o óleo da água até apresentar concentração mínima de saída de 9,0 ppm (valores dentro do estipulado pela resolução do CONAMA).

Ao contrário dos ensaios de sorção seca e sorção dinâmica, os resultados do pêlo de cachorro de raças diversas, superaram os de paina e de pêlo de poodle branco. Neste caso, a mistura heterogênea das fibras (pêlo liso, pêlo ondulado...) parece ter facilitado a retenção de óleo na coluna e propiciou resultados de 9ppm na concentração de saída.

A coluna de paina obteve resultado de concentração de saída superior ao do pêlo de poodle branco e do pêlo de cachorro de raças diversas, mas durante o mesmo intervalo de tempo não saturou (por isso não apresentou o ponto de quebra) o que garante um tempo de utilização maior que a coluna de poodle branco e de pêlo de cachorro de raças diversas.

As colunas de paina não saturaram, por isso não foi possível determinar o ponto de quebra ou “breakpoint”.

## 6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

### 6.1 CONCLUSÃO

Utilizando as fibras naturais como materiais para sorção de óleo presente na água, é valorizado o processo físico de separação, sendo uma alternativa aos processos oxidativos avançados pois além de não liberar dióxido de carbono, não degrada o óleo possibilitando sua futura reutilização.

Foi possível fazer a fiação da paina, pêlo de Poodle e mistura de pêlos de cachorros de diversas raças e também, foi possível confeccionar mantas com os fios obtidos para os testes de sorção e utilização em filtros.

Nos testes de sorção dinâmica as amostras de paina apresentaram os melhores resultados de sorção em óleo mineral isolante usado e em petróleo. Porém no teste de sorção dinâmica em petróleo, foi obtido um valor próximo do sorvente comercial composto de manta de polipropileno. As amostras de pêlo de poodle branco obtiveram resultados superiores aos das amostras de turfa com revestimento de algodão para a sorção em óleo mineral isolante usado e em petróleo. As amostras de pêlo cachorro de raças diversas obtiveram resultados superiores aos da turfa com revestimento de algodão em teste de sorção dinâmica utilizando petróleo.

As amostras de paina tiveram o menor valor de teor de água para os dois tipos de óleos testados, resultados estes que superaram os valores dos sorventes comerciais.

O teor de água retido após o teste de sorção dinâmica em óleo mineral isolante foi inferior aos valores após o teste com petróleo, essa alteração provavelmente está diretamente associada à viscosidade dos óleos, sendo o Petróleo mais viscoso que o Óleo Mineral Isolante utilizado nos testes.

É interessante notar que no pêlo de cachorro, o óleo encobriu o material de forma elíptica enquanto que na paina, de forma elíptica mas menos pronunciada, de certa forma linear, ou seja, quanto mais espalhado o óleo no filamento menor a tensão superficial, ou seja, os materiais são compatíveis com o óleo pois não há a formação de gotas esféricas. Há um maior grau de molhabilidade do óleo para a paina em relação aos demais materiais testados.

A descontaminação de águas oleosas, além de contribuir para a preservação de ecossistemas também pode contribuir no aspecto econômico, reduzindo os

gastos. Embora as fibras de pêlo de cachorro de raças diversas não tenham apresentado os melhores resultados de sorção, este resíduo de PetShop superou os resultados obtidos com a turfa com revestimento de algodão, atualmente utilizada comercialmente como produto de contenção de vazamentos, em ensaios de sorção e superou todas as outras fibras na capacidade de limpeza em coluna de adsorção. Por este motivo, produtos à base de pêlo de cachorro de raças diversas podem ser utilizados como material sorvente para óleo mineral e petróleo, visto que associado a seu pequeno êxito sobre a turfa com revestimento de algodão, associado à sua vantagem econômica, já que é um material descartado, pode resultar em um produto de baixo custo.

As fibras alternativas utilizadas nesta pesquisa, apresentaram resultados superiores à amostra de controle também nos ensaios em coluna de vidro, onde a paina, o pêlo de poodle branco e o pêlo de cachorro de raças diversas demonstraram alta capacidade de limpeza de efluentes com petróleo em forma de filtros.

Como as fibras de paina, pêlo de poodle branco obtiveram bons resultados de sorção dinâmica, acredita-se que o problema no sistema hídrico simulado, seja de design das amostras e não do material.

A capacidade de limpeza dos filtros de paina, pêlo de Poodle e pêlo de cachorro de raças diversas foi muito boa pois água contendo 259 ppm de óleo foi purificada até 9ppm para o pêlo de cachorro de raças diversas, 11,7 ppm para o pêlo de Poodle e 21,7 ppm para a paina.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É necessário um aprofundamento na técnica de confecção dos fios e das amostras ou na disposição das mantas no corpo hídrico simulado de forma a garantir maior contato dos tapetes com o sistema água-óleo. Através da alteração da gramatura, do estiramento e da forma de trançar os fios será possível otimizar a produção de fios e verificar a dependência destes fatores na capacidade de sorção. Testes de confecção das amostras por meio de técnicas de “non woven” (não tecidos) devem ser realizados para comparar com os tecidos utilizados neste trabalho.

Realizar um estudo com intervalos de tempo inferiores a 5 minutos, para determinar o crescimento da capacidade de sorção, identificando o ponto de saturação e a possibilidade de dessorção. O estudo da dessorção poderá gerar uma nova possibilidade de recuperação do material sorvente e a possibilidade de reutilização do material.

Realizar ensaios com as amostras em solução com combustível marítimo, com água marinha artificial produzida conforme norma ASTM D 1141/92 e sistema hídrico, para simular as condições de derramamento em mar aberto.

Verificação da tensão superficial das fibras estudadas por meio da técnica de microscopia de força atômica. Fazer a análise da área superficial das fibras e avaliar o efeito das cutículas (micro escamas presentes nas fibras animais) no processo de sorção.

Análise dos fatores termodinâmicos para ensaios em coluna de adsorção e modelagem matemática dos filtros.

Uso de filtros com amostras tecidas para testes de capacidade de limpeza de águas oleosas em colunas.

Associar as fibras de paina, pêlo de poodle branco e pêlo de cachorro de raças diversas em ensaios de sorção e como recheios de filtros para verificação de capacidade de limpeza de águas oleosas em testes em coluna de adsorção.

## REFERÊNCIAS

ABADI, S. R. H., SEBZARI, M. R., HEMATI, M., REKABDAR, F., MOHAMMADI, T. **Ceramic membrane performance in microfiltration of oily wastewater.** Desalination, n. 265, pg. 222-228, 2011

ADEBAJO, M.O., FROST, R. L. **Acetylation of raw cotton for oil spill cleanup application:** na FTIR and C MAS NMR spectroscopic investigation. Australia, 2003.

ALTAVISA. **História do Petróleo.** Disponível em <[http://www.altavisa.pt/pt\\_pt/maxcontent/documento/32/blogue-altavisa/historia-do-petroleo/](http://www.altavisa.pt/pt_pt/maxcontent/documento/32/blogue-altavisa/historia-do-petroleo/)> Acesso em: 26 de outubro de 2011.

AMABIS, J. M., MARTHO, G. R. **Biologia dos Organismos: classificação, estrutura e função nos seres vivos.** Editora Moderna, São Paulo, pg. 416, 1994.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia. Parte III – Fontes não renováveis. Cap. 7, Derivados de Petróleo, 2008.

ANNUNCIADO, T. R. **Estudo da *Chorisia speciosa* e outras fibras vegetais como sorvente para o setor do Petróleo.** Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

ASÇI, Y., NURBAS, M., AÇIKEL, Y. S. **Investigation of sorption/desorption equilibria of heavy metal ions on/from quartz using rhamnolipid biosurfactant.** Journal of Environmental Management, n. 91, pg. 724-731, 2010.

ASTAKHOV, V. P. **Cutting Fluids (coolants) and their Application in Deep-Hole Machining.** Disponível em <<http://viktorastakhov.tripod.com/DH/coolant.pdf>>. Acesso em 10 de março de 2011.

ATKINS, P., PAULA, J. **Físico-Química.** LTC, 8 ed. V. 2., Rio de Janeiro, 2006.

AZEVEDO, C. G., SANTANA, E. T., LOBO, R. N., NUNES, A. B. **Caniche.** VI

FEBRACE: Feira Brasileira de Ciências e Engenharia. São Paulo, pg. 62, Mar. 2008.

BAI, Z., WANG, H., TU, S. **Oil-water separation using hydrocyclones enhanced by air bubbles.** Chemical Engineering Research and Design, n. 89, pg. 55-59, 2011.

BARA, R. P., ANNUNCIADO, T. R., FLORES-SAHAGUN, T. H. S. **Evaluation of Natural sorbent materials for cleaning for oilywaters.** 1ºTMS/ABM international Material Congress, pg. 4547-4555, 2010.

BERTON, C., GENOT, C., ROPERS, M. H. **Quantification of unadsorbed protein and surfactant emulsifiers in oil-in-water emulsions.** Journal of Colloid and Interface Science, n. 354, pg. 739-748, 2011.

BIRD, R. B., STEWART, W. E., LIGHTFOOT, E. N. **Fenômenos de Transporte.** LTC Editora, 2 ed. Rio de Janeiro 2004.

BOM DIA PARANÁ. Disponível em: <<http://extra.globo.com/noticias/brasil/abastecimento-de-agua-volta-ao-normal-em-cascavel-1138114.html>>  
Acesso em: 18 de junho de 2011.

BONETTI, T. F. **Desenvolvimento de sistemas industriais alternativos para o combate de derramamentos no setor de petróleo.** Relatório PRH/24, Departamento de Engenharia Mecânica, UFPR, Curitiba, 2005.

BONETTI, T. F., SYDENSTRICKER, T. H. D., AMICO, S. C. **Avaliação da Cortaderia selloana (capim dos pampas) como material sorvente para o setor do petróleo.** 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, pg. 9654-9663, 2006.

BORBA, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em colunas de adsorção de leito fixo.** Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química Unicamp, Campinas, SP, Brasil, 2006.

BOULHOSA, M. B. M., SOUZA FILHO, P. W. M. **Reconhecimento e Mapeamento dos Ambientes Costeiros para Geração de Mapas de ISA ao Derramamento de Óleo, Amazônia Oriental.** Revista Brasileira de Geofísica, nº 27, pg. 23-37, 2009.

BRETNEY, E. Water Purifier, U.S. Patent, No. 543-105, 1891.

CAMPOS, J.C., BORGES, R.M.H., OLIVEIRA FILHO, A.M., NOBREGA, R., SANT'ANNA JR., G.L. **Oilfield wastewater treatment by combined microfiltration and biological processes.** Water Res. 36, pg. 95–104, 2002.

CARDOSO, L. C. **PETRÓLEO: Do poço ao posto.** Ed. Qualtymark, Rio de Janeiro, 2005.

CLAIBORNE, C. C., CHERRY, D. B. **A status update on the use of natural ester (vegetable oil) dielectric fluids in transformers.** Anais do 74th Doble International Client Conference, Boston, MA, 2006.

COLLINS, C. H., BRAGA, G. L., BONATO, P. S. **Fundamentos de Cromatografia**. Editora Unicamp, Campinas, 2006.

CONAMA. Resolução 357 do CONAMA de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CORRÊA, O. L. S. **Petróleo: Noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, pg. 14-17 e 81-86, 2003.

DAHLAN, I., LEE, K. T., KAMARUDDIN, A. H., MOHAMED, A. R. **Sorption of SO<sub>2</sub> and NO from simulated flue gas over rice husk ash (RHA)/CaO/CeO<sub>2</sub> sorbent: Evaluation of deactivation kinetic parameters**. Journal of Hazardous Materials, n. 185, pg. 1609-1613, 2011.

DALTON, T., JIN, D. **Extent and frequency of vessel oil spills in US marine protected areas**. Marine Pollution Bulletin, nº 60, pg. 1939-1945, 2010.

DEGANI, A.L.G., CASS, Q.B., VIEIRA, P.C. **Cromatografia**. Química Nova Escola, v.7, maio 1998.

ECOSAFE. Disponível em <<http://www.ecosafe.com.br/poli.htm>> Acesso em 13 de abril de 2010.

ELORDUI-ZAPATARIETXE, S., ROSELL-MELÉ, A., MORALEDA, N., TOLOSA, I., ALBAIGÉS, J. **Phase distribution of hydrocarbons in the water column after a pelagic deep ocean oil spill**. Marine Pollution Bulletin, nº 60, pg. 1667-1673, 2010.

ENGENHO NOVO. Disponível em <http://www.engenovo.com.br/pt/artigos-tecnicos/artigostecnicos.php>. Acesso em 12 de março de 2011.

ENOKIDO, A. **Silk Floss Tree (Chorisia speciosa)** Los Angeles County Arboretum & Botanic Garden, Los Angeles, 2010.

ESALQ. Escola Superior de Agricultura Luiz e Queiroz, USP. Disponível em:<<http://esalq.usp.br/trilhas/uteis/ut07.php>> Acesso em: 11 de maio 2010.

EURONEWS. BP selou poço de Petróleo no Golfo do México. Disponível em:<<http://pt.euronews.net/2010/09/20/bp-selou-poco-de-petroleo-no-golfo-do-mexico/>> Acesso em: 10 de setembro 2011.

FERREIRA, E. M. M. **Uso de espumas de poliuretano na extração de Índio de meio iodeto**. Departamento de Química. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.

FRANCH, V. S. **Avaliação da compatibilidade de óleos vegetais isolantes com materiais internos do transformador**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FOLETTTO, E. L., ROS, S. CARLESSO, F., JAHN, S. L. **Uso de biomassa como absorvente para a contenção de derramamento de óleo**. Acta Ambiental Catarinense, v. 6, n. 1, pg. 57-64, 2009.

FOUST, A. S. **Princípios das Operações Unitárias**. LTC, 2 ed., Rio de Janeiro, 1982.

HARBERT, A. C., BORGES, C. P., NOBREGA, R. **Processos de separação por membranas**. Editota E-Papers, Rio de Janeiro, 2006.

HELENO, F. F., LIMA, A. C., AFONSO, R. J. C. F., COUTRIM, M. X. **Otimização e validação de métodos analíticos para determinação de btex em água utilizando extração por headspace e microextração em fase sólida**. Química Nova, vol. 33, nº 2, pg. 329-336, 2010.

HU, X., NEVILLE, A. **CO<sub>2</sub> erosion-corrosion of pipeline steel (API X65) in oil and gas conditions – A systematic approach**. Wear, v. 267, pg. 2027-2032. Inglaterra, 2009.

JAVOID, A., RYAN, T., BERG, G., PAN, X., VISPUTE, T., BHATIA, S. R., HUBER, G. W., FORD, D. M. **Removal of char particles from fast pyrolysis bio-oil by microfiltration**. Journal of Membrane Science, n. 363, pg. 120-127, 2010.

KRONEMBERGER, F. A., FREIRE, D. M. G., BORGES, C. P. **Produção de biossurfactantes em biorreator assistido por processos com membranas**. Boletim Técnico da Petrobrás, v. 53, n. 1/3, pg. 109-122, 2010.

LI, Q., KANGB, C., ZHANG, C. **Waste water produced from an oilfield and continuous treatment with am oil-degrading bacterium**. Process Biochemistry, v. 40, pg. 873-877, 2005.

LIMA, M. V., DIAS-BRITO, D., MILANELLI, J. C. C. **Mapeamento da Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo em Ilhabela, São Paulo**. Revista Brasileira de Cartografia nº60/02, 2008.

LIU, X. **Integrated modeling of oil spill response strategies: a coastal management case study**. Environmental Science e Policy. N.º 13, pg. 415-422, 2010.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 4. Ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, pg. 77, 2002.

LUNA, D. Mancha de petróleo de acidente da Chevron diminui para 1 km<sup>2</sup>. Folha de São Paulo, 2011. Disponível em: < <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/1011960-mancha-de-petroleo-de-acidente-da-chevron-diminui-para-1-km.shtml>>. Acesso em: 26 de novembro de 2011.

MAHLER, V., ERFURT-BERGE, C., SCHIEMANN, S., MICHAEL S., EGLOFFSTEIN, A., KUSS, O. **Dirt-binding particles consisting of hydrogenated castor oil beads constitute a nonirritating alternative for abrasive cleaning of recalcitrant oily skin contamination in a three-step programme of occupational skin protection**. British Journal of Dermatology, nº 162, pg. 812-818, 2010.

MAZZA, G. **Frutto di Ceiba speciosa**. 1998. color. Disponível em: <<http://www.photomazza.com/?Chorisia-speciosa&lang=es>> Acesso em: 10 de agosto de 2011.

MILLIOLI, V.S., FREIRE, D.D.C., CAMMAROTA, M.C. **Tratamento de Areia de Praia Contaminada por Óleo Cru Utilizando Reagente de Fenton**. Série Tecnologia Ambiental – CETEM. V.31, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

NARASIMHA, M., SRIPRIYA, R. AND BANERJEE, P.K., **CFD Modelling of hydrocyclone - prediction of cut size**. International Journal of Mineral Process, N°75: pg. 53–68, 2005.

NOBREGA, G. A. S. **Determinação do teor de umidade do gás natural usando um dispositivo com adsorção**. Monografia, Departamento de Engenharia Química/UFRN, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP, Natal, RN, Brasil, 2001.

NORMA ASTM D95 – 83. Standard Test Method For Water In Petroleum Products And Bituminous Materials.

ORNELAS, N. J. R., FREITAS, M. F. M., MORAES, S. M. O., GONÇALVES, L. R. B. **Estudo da viabilidade do processo de separação de amoxicilina por adsorção em carvão ativado**. Artigo técnico, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, 2004.

PEDROZO, M.F.M., et all. **Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do Petróleo**. Série Cadernos de Referência Ambiental v. 12. Salvador, Brasil, 2002.

PENDASHTEH, A. R., ABDULAH, L. C., FAKRU'L-RAZI, A., MADAENI, S. S., ABIDIN, Z. Z., BIAK, D. R. A. **Evaluation of membrane bioreactor for hypersaline oily wastewater treatment**. Process Safety Environmental Protection, 2011.

PEROTTA, L. **Avaliação de Diferentes Tipos de Recheios em Colunas de Adsorção para Purificação de Águas Oleosas**. Relatório final de estágio e PIBIC. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

PERUZZO, L. C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo**. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos/UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 2003.

PIRÔLLO, M. P. S. **Estudo da produção de biossurfactantes utilizando hidrocarbonetos**. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

RAJAKOVIC-ONGNJANOVIC, V., ALEKSIC, G., RAJAKOVIC, LJ. **Governing factors for motor oil remval from water with dfferent sorption materials**. Journal of Hazardous Mterials, n.º154, pg. 558-563, 2008.

REMY, A., GAY, M., GONTHIER, R. **Materiaux**. Editora Hemus, Suisse, 2002. pg. 372-381.

RIBEIRO, T.H., SMITH, R. W., RUBIO, J. **Sorption of Oils by the Nonlinving Biomass of a *Salvinia* sp**. Environmental and Science Technology. v. 34, n. 24, pg. 5201-5205, 2000.

SAIFUDDIN, N., CHUA, K. H. **Treatment of oily waste water emulsions from metallurgical industries using microwave irradiation**. Artigo técnico, University of Tenaga Nasional, Serdang, Selangor, Malaysia, 2004.

SANTOS, E. G., ALSINA, O. L. S., SILVA, F. L. H. **Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos**. Revista Química Nova, v. 30, n. 2, pg. 327-331, 2007.

SANTOS, J., SANTOS, L. P. **Avaliação de Fibras de Resíduos de Agave Azul como Material Sorvente para o Setor do Petróleo**. Relatório final de PIBIC. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

SANTOS, S. L. C. **Um Modelo de Banco de Dados Geográficos para a Resposta ao Derramamento de óleo baseado na Vulnerabilidade e Sensibilidade do Litoral Paulista**. Curso Sensoriamento para Ecossistemas Costeiros, UFBA, 2006.

SCHEER, A.P. **Desenvolvimento de um Sistema para simulação e otimização do processo de adsorção para avaliação da separação de misturas líquidas**. Tese de Doutorado, UNICAMP. Campinas, 2002.

SHARIFI, Y., AKEN, B. V., BOUFADEL, M. C. **The Effect of Pore Water Chemistry on the Biodegradation of the Exxon Valdez oil Spill**. Springer Science, 2010.

SHENKMANN, L., STOKSTAD, E. **Gulf oil disaster**. AAAS, vol. 328, pg. 1214-125, jun. 2010.

SILVERSTEIN, R. M., WEBSTER, F. X., KIEMLE, D. J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 6 ed., 1998.

SINDITÊXTIL SP - Sindicato das Indústrias Têxteis do Estado de São Paulo. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil**. São Paulo, 2009.

SONG, S., SHON, Z., KIM, Y. Kang, Y. Kim, K. **Na oil spill accident and its impact on ozone levels in the surrounding coastal regions**. Atmospheric Environment. N.º 45, pg. 1312-1322, 2011.

SRINIVASAN, A., VIRARAGHAVAN, T. **Oil removal from water by fungal biomass: A factorial design analysis**. Journal of Hazardous Materials, n. 175, pg. 695-702, 2010.

SYDENSTRICKER, T. H., ANNUNCIADO, T. R., AMICO, S. C. **Um novo material sorvente para petróleo e derivados composto à base de fibra vegetal (Chorisia speciosa)**. Depósito efetuado em 15/09/2005 sob o número PI 05040965, publicada em 22/05/2007 com o número BR2005PI4096.

SYDENSTRICKER, T. H., SATYANARAYANA, K. G., SANTOS, L. P., PEROTTA, L. **Material sorvente para petróleo, derivados, óleos vegetais ou minerais compostos à base de pêlo de cachorro**. Depósito efetuado em 29/04/2009 sob o número PI 0901585-0.

TANOBE, V. O. A. **Desevolvimento de sorventes à base de espumas de poliuretanos flexíveis para o setor do petróleo**. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, UFPR, 2007.

TEIXEIRA, G. **O que significa metodologia?** In: Ser Professor Universitário, 2005. Disponível em <[www.serprofessoruniversitario.pro.br](http://www.serprofessoruniversitario.pro.br)>. Acesso em 03 de fevereiro de 2009.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Editora Interciência, 2001. pg. 262 - 267.

TINÔCO, R. C. C. **Forma de compensação aplicada ao dano ambiental provocado por derramamento de petróleo na região de alto-mar**. 2º Congresso Brasileiro de P& D em Petróleo & Gás. 2003

VIOTTO, D. Yahoo Notícias: Vazamento no Golfo do México afetará exploração petrolífera mundial. Disponível em: <<http://br.noticias.yahoo.com/s/19052010/48/manchetes-vazamento-no-golfo-mexico-afetara.html>> Acesso em: 21 de maio de 2010.

WEI, Q.F., MATHER, R.R., FOTHERINGHAN, A.F. **Oil Removal from used Sorbents using a Biosurfactant**. Bioresource Technology, v. 96, pg. 331-334. China, 2005.

WEINTRAUB, M. H., GEALER, R. L., GOLOVOY, A., DZIECIUCH, M. A. **Development of eletrolytic treatment of oily wastewater**. Environmental Prog. 2, pg. 32-37, 1983.

WILSON, A. C. M. **Insulating liquids: their uses manufacture and properties**. London: Peter Peregrinus Ltd., 1980, pg. 221.

WITEK-KROWIAK, A., SZAFRAN, R. G., MODELSKI, S. **Biosorption of heavy metals from aqueous solutions onto peanut as a low-cost biosorbent**. Desalination, n. 265, pg. 126-134, 2011.

ZEISS. AxioVision - Digital Image Processing Software for your microscope. Disponível em: <<http://www.zeiss.de/axiovision>>, Acesso em 6 de Nov. 2011.

ZHANG, G.A., CHENG, Y.F. **Electrochemical corrosion of X65 pipe steel in oil/water emulsion**. Corrosion Science, v. 51, pg. 901-907. China, 2009.

## APÊNDICES

## APÊNDICE 1

TABELA 17 - Resultados do teste de sorção dinâmica com Petróleo

## Petróleo

Teste: 150ml água + 5ml Petróleo com agitação magnética

	Nº	Massa Inicial [g]	Massa Final	Mf - Mo	sorção água [g]	sorção óleo	g óleo/g sorvente	Média Sorção	Destilado [ml]
Pêlo Misturado	109	1,5192	6,4768	4,9576	0,3000	4,6576	3,0658	3,0446	0,3
	110	1,1870	5,1009	3,9139	0,3000	3,6139	3,0446		0,3
	111	1,2135	5,3122	4,0987	0,9000	3,1987	2,6359		0,9
	112	1,2117	5,3603	4,1486	0,3500	3,7986	3,1349		0,35
	113	0,9624	4,4784	3,5160	0,3000	3,2160	3,3416		0,3
Poodle Branco	114	1,7590	7,3149	5,5559	0,5000	5,0559	2,8743	3,2192	0,5
	115	1,3155	6,0463	4,7308	0,1500	4,5808	3,4822		0,15
	116	1,2800	5,4515	4,1715	0,0000	4,1715	3,2192		0
	117	1,5149	6,3326	4,8177	0,2000	4,6177	3,0482		0,2
	118	1,2422	6,0554	4,8132	0,5000	4,3132	3,4722		0,5
Paina	119	0,5820	4,4592	3,8772	0,3000	3,5772	6,1464	6,1673	0,3
	120	0,5423	2,8022	3,3445	0,0000	3,3445	6,1673		0
	121	0,5480	3,9373	3,3893	0,0000	3,3893	6,1849		0
	122	0,5700	3,8815	3,3115	0,1800	3,1315	5,4939		0,18
	123	0,5124	4,2194	3,7070	0,2000	3,5070	6,8443		0,2
Manta de Polipropileno	144	0,6402	4,6768	4,0366	0,1000	3,9366	6,1490	6,0808	0,1
	145	0,8758	4,891	4,0152	0,0000	4,0152	4,5846		0
	146	0,7517	5,4325	4,6808	0,0000	4,6808	6,2270		0
	182	0,3896	3,8071	3,4175	0,0000	3,4175	8,7718		0
	183	0,5678	3,2203	2,6525	0,0000	2,6525	4,6715		0
Algodão	124	0,4241	1,3047	0,8806	0,1000	0,7806	1,8406	1,8964	0,1
	125	0,3219	0,9323	0,6104	0,0000	0,6104	1,8964		0
	126	0,3287	0,7935	0,4648	0,0000	0,4648	1,4141		0
	127	0,3046	1,0332	0,7286	0,0000	0,7286	2,3920		0
	128	0,2991	0,8790	0,5799	0,0000	0,5799	1,9388		0
Turfa + algodão	147	0,9132	3,6737	2,7605	0,1000	2,6605	2,9134	2,8968	0,1
	148	0,9179	4,5087	3,5908	0,0000	3,5908	3,9120		0
	149	0,6348	2,5632	1,9284	0,1000	1,8284	2,8803		0,1
	180	1,2005	4,6781	3,4776	0,0000	3,4776	2,8968		0
	181	0,9234	3,0569	2,1335	0,0000	2,1335	2,3105		0

## APÊNDICE 2

TABELA 18 - Resultados do teste de sorção dinâmica com OMI

## Óleo Mineral Isolante

Teste: 150ml água + 5ml Petróleo com agitador magnético

	Nº	Massa Inicial [g]	Massa Final	Mf - Mo	sorção água [g]	sorção óleo	g óleo/g sorvente	Média Sorção	Destilado [ml]
Pêlo Misturado	150	1,1603	5,0700	3,9097	0,3000	3,6097	3,1110	4,2430	0,3
	154	0,6873	5,1174	4,4301	0,4000	4,0301	5,8637		0,4
	158	1,0300	4,8969	3,8669	0,0000	3,8669	3,7543		0
	168	1,2456	8,4242	7,1786	0,1000	7,0786	5,6829		0,1
	174	0,9263	3,7228	2,7965	0,2000	2,5965	2,8031		0,2
Poodle Branco	151	0,8822	5,6353	4,7531	0,2000	4,5531	5,1611	5,0901	0,2
	155	0,7391	4,1679	3,4288	0,0000	3,4288	4,6392		0
	159	0,4736	3,0642	2,5906	0,0000	2,5906	5,4700		0
	169	0,8237	5,4624	4,6387	0,1000	4,5387	5,5101		0,1
	175	0,6283	3,5625	2,9342	0,0000	2,9342	4,6701		0
Paina	152	0,2686	3,1708	2,9022	0,0000	2,9022	10,8049	8,1945	0
	156	0,3997	3,1088	2,7091	0,0000	2,7091	6,7778		0
	160	0,3493	2,7947	2,4454	0,0000	2,4454	7,0009		0
	170	0,4546	5,2088	4,7542	0,0000	4,7542	10,4579		0
	176	0,1987	1,3772	1,1785	0,0000	1,1785	5,9311		0
Manta de Polipropileno	153	0,4353	1,1853	0,7500	0,0000	0,7500	1,7229	6,0557	0
	157	0,4222	1,2736	0,8514	0,0000	0,8514	2,0166		0
	161	0,3279	0,9558	0,6279	0,0000	0,6279	1,9149		0
	171	0,3983	6,8523	6,4540	0,0000	6,4540	4,1044		0
	177	0,6943	9,3956	8,7013	0,0000	8,7013	8,0070		0
Algodão	165	0,4353	1,1853	0,7500	0,0000	0,7500	1,7229	1,8848	0
	166	0,4222	1,2736	0,8514	0,0000	0,8514	2,0166		0
	167	0,3279	0,9558	0,6279	0,0000	0,6279	1,9149		0
	172	0,2357	0,5822	0,3465	0,0000	0,3465	1,4702		0
	178	0,3472	1,1456	0,7984	0,0000	0,7984	2,2994		0
Turfa + algodão	162	0,9787	5,393	4,4143	0,0000	4,4143	4,5104	4,2179	0
	163	0,8491	4,2953	3,4462	0,0000	3,4462	4,0587		0
	164	1,0015	5,1924	4,1909	0,1000	4,0909	4,0848		0,1
	173	1,0377	5,6778	4,6401	0,0000	4,6401	4,4715		0
	179	0,7203	3,5758	2,8555	0,0000	2,8555	3,9643		0