

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Leonardo Goelzer da Silva**

**ALTERNATIVAS DE RESÍDUOS PARA MATERIAL  
SUPORTE DE REATOR BIOLÓGICO NO TRATAMENTO DE  
ESGOTOS**

Porto Alegre  
novembro 2016

**LEONARDO GOELZER DA SILVA**

**ALTERNATIVAS DE RESÍDUOS PARA MATERIAL  
SUPORTE DE REATOR BIOLÓGICO NO TRATAMENTO DE  
ESGOTOS**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Luiz Olinto Monteggia**

Porto Alegre  
Novembro 2016

## **AGRADECIMENTOS**

Que Deus continue a iluminar-me...

Ao professor Luiz Olinto Monteggia, pela orientação e amizade que conseguimos construir em meio aos encontros no IPH e na ETE São João ao longo dessa pesquisa, sempre preocupado com a qualidade do aprendizado de seus alunos. Valeu Mestre!

Aos professores Antônio Benetti e Gino Gehling, por aceitarem orientar-me e me fornecerem subsídios para o desenvolvimento do meu trabalho.

Aos técnicos Raquel e Fabrício do CMM – UFRGS que não mediram esforços para esclarecimentos de dúvidas e auxílio nas análises de microscópio.

Aos meus pais e irmãos por me apoiarem sempre, acreditando em mim. Vocês são responsáveis por tudo que sou hoje. Obrigado! Mesmo de longe, vocês fazem parte de minha vida de maneira tão intensa.

A minha esposa Bruna agradeço pelo amor, carinho e compreensão. Você foi fundamental em todos os momentos dessa trajetória. Obrigada por tudo e por estar sempre ao meu lado, somando momentos felizes, e compartilhando momentos difíceis. Te amo muito!

A UFRGS e a Escola de Engenharia, essas instituições consagradas no ensino e pesquisa, também preocupadas com a formação de seus alunos, sempre oferecendo um ensino de excelência.

Aos colegas e amigos que sempre me incentivaram para a realização desse sonho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um Reator Biológico.....	15
Figura 2 - Representação esquemática da formação do Biofilme.....	19
Figura 3 - Reator Biológico com meio suporte de Pedra Britada Nº 4.....	24
Figura 4 - Reator Biológico com meio suporte de Anéis Randômicos de PVC.....	24
Figura 5 - Anéis Plásticos marca HIDROBOL.....	26
Figura 6 - Retalhos de Couro.....	30
Figura 7 - Pneu Triturado.....	33
Figura 8 - Ciclo da logística reversa .....	35
Figura 9 – Amostras para o desenvolvimento do biofilme.....	37
Figura 10 – Colocação das amostras nas câmaras de esgoto.....	38
Figura 11- Microscópio Eletrônico Joel JSM – 6060.....	42
Figura 12 – Crescimento do biofilme no couro câmara de Bardenpho.....	43
Figura 13 – Crescimento do biofilme no pneu câmara de Bardenpho.....	44
Figura 14 – Crescimento do biofilme no PET câmara de Bardenpho.....	44
Figura 15 – Crescimento do biofilme no couro câmara UASB.....	46
Figura 16 – Crescimento do biofilme no pneu câmara UASB.....	47
Figura 17 – Crescimento do biofilme no PET câmara UASB.....	48

## **LISTA DE SIGLAS**

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANIP - Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos

CMM - Centro de Microscopia e Microanálise (UFRGS)

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FBP - Filtro Biológico Percolado

LACOURO- Laboratório de Couro (UFRGS)

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

NBR - Norma Brasileira Reguladora

PET - Politereftalato de Etila

POA - Porto Alegre

PVC - Poli Cloreto de Vinila

TDH - Tempo de Detenção Hidráulica

UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS

(C) - Elemento Químico Carbono

(cm<sup>3</sup>) - Centímetros Cúbicos

(g) - Grama

(kton) - Kilotonelada

(L/s) - litros por segundo

(mL) - Mililitro

(N) - Elemento Químico Nitrogênio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	<b>10</b>
2.1 QUESTÕES DE PESQUISA.....	10
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	10
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2.2 Objetivos secundários</b> .....	<b>10</b>
2.3 PRESSUPOSTOS .....	11
2.4 PREMISA .....	11
2.5 DELIMITAÇÕES .....	11
2.6 LIMITAÇÕES .....	11
2.7 DELINEAMENTO .....	11
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1 TRATAMENTO DE ESGOTO.....	13
3.2 TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO.....	13
3.3 TRATAMENTO BIOLÓGICO ANAERÓBIO.....	14
3.4 REATORES BIOLÓGICOS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO.....	14
3.5 FUNCIONAMENTO DO REATOR BIOLÓGICO PERCOLADO .....	16
3.5.1 FILTRO BIOLÓGICO COM LEITO MÓVEL.....	17
4 FORMAÇÃO DO BIOFILME .....	18
4.1 CONSTITUIÇÃO DO BIOFILME .....	21
4.2 FATORES PARA ADESÃO DO BIOFILME NO MEIO SUPORTE .....	21
5 MATERIAIS SUPORTE USUAIS EM REATORES BIOLÓGICOS .....	23
6 CUSTOS DE MATERIAIS SUPORTE VENDIDOS NO MERCADO .....	26
7 MATERIAIS E MÉTODOS PESQUISADOS.....	27
8 MATERIAIS SUPORTES ALTERNATIVOS.....	28
8.1 RETALHOS DE COURO .....	29
8.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO COURO .....	29
9 PNEU TRITURADO .....	31
9.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO PNEU.....	32

10 PET (Politereftalato de Etila) .....	34
11 LOGÍSTICA REVERSA .....	35
12 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	36
13 SISTEMA EXPERIMENTAL.....	37
13.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	39
13.2 FIXAÇÃO.....	39
13.3 DESSECAÇÃO.....	40
13.4 METALIZAÇÃO.....	41
14 GERAÇÃO DE IMAGENS .....	42
15 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	43
16 CONCLUSÕES .....	49
17 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50



*"A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original." (Albert Einstein)*

## 1 INTRODUÇÃO

A poluição de corpos hídricos superficiais pelo lançamento sem tratamento prévio de esgoto sanitário ainda é um dos problemas ambientais de países em desenvolvimento, trazendo efeitos negativos para saúde ambiental e humana, prejudicando a manutenção das condições básicas de qualidade d'água para seus diversos usos. Dentre os processos utilizados para o tratamento de esgoto sanitário, o tratamento biológico é uma das alternativas empregadas com sucesso já há algumas décadas, sendo este baseado no papel natural dos microrganismos na ciclagem de elementos como Carbono (C) e Nitrogênio (N). O uso de biomassa aderida em um material suporte em filtros biológicos confere vantagens para o desenvolvimento do biofilme no reator biológico.

A formação de biofilme por organismos autotróficos e heterotróficos pode se desenvolver em diferentes materiais como: plásticos, borrachas, couro, vidros, madeira entre outros materiais, porém em algumas superfícies este desenvolvimento pode ser favorecido ou não, dependendo das características físicas, como hidrofobicidade, rugosidade, porosidade, densidade entre outros aspectos. Estudos recentes das propriedades de adesão de bactérias têm mostrado que, em alguns casos, as características físico-químicas da superfície da célula contribuem determinantemente no processo de adesão.

Essa pesquisa trata de uma análise comparativa da eficiência na formação do biofilme para alguns materiais suportes de reatores biológicos no tratamento de esgoto, materiais esses oriundos de resíduos da indústria e do lixo urbano. Alguns parâmetros básicos devem ser levados em consideração para a escolha do melhor método para tratar o esgoto doméstico. Essa análise deve levar em conta a eficiência do processo, custos e projetos mais sustentáveis em prol do meio ambiente onde o efluente será descartado.

## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: análise comparativa da eficiência de três resíduos usados como material suporte em reatores biológicos para o tratamento de esgoto.

### 2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### 2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é uma análise crítica e comparativa do desempenho de materiais como retalhos de couro, pneu moído e PET (politereftalato de etila) no desenvolvimento de biofilmes na suas superfícies para serem usados em reatores biológicos no tratamento de esgoto.

#### 2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) Avaliar o desenvolvimento de biofilme em materiais suporte para filtros biológicos, visando um bom desempenho na operação e otimização de custos no processo de tratamento de esgoto,
- b) oferecer manejo e aproveitamento para resíduos, viabilizando a diminuição do lixo urbano que assola as grandes cidades do país,
- c) Propor alternativas sustentáveis de materiais suporte sob o ponto de vista ambiental.

## 2.3 PRESSUPOSTOS

São pressupostos do trabalho :

- a) a eficiência do processo de tratamento de esgoto no reator biológico está diretamente relacionada à capacidade de adesão microbiana no material suporte proposto;
- b) os materiais propostos na pesquisa são inertes ao meio e com grande capacidade de formação do biofilme em sua superfície.

## 2.4 PREMISSA

A análise segue a premissa de que o crescimento do biofilme no reator biológico é variável de acordo com as características físicas e químicas do material, como: rugosidade, densidade, superfície específica, hidrofobicidade entre outros parâmetros.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho limitará a escolha dos tipos de materiais como alternativas, onde esses devem ser inertes ao meio e encontrados em abundância na região do Rio Grande do Sul para que possam obedecer as condições físicas do meio ambiente onde serão analisados.

## 2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho se limitará a análise do desenvolvimento do biofilme em resíduos de couro, pneu e PET usados como material suporte para reatores biológicos num contexto mais sustentável, visando otimizar custos e alternativas mais ecológicas para o meio ambiente. Não se analisará a forma e o tamanho final desses materiais propostos.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) estudo do processo de tratamento de esgotos num todo;
- c) estudo das características físicas e químicas dos materiais suporte;

- d) análise da viabilidade de materiais usados como meio suporte;
- e) análise comparativa e conclusões.

Primeiramente, um aprofundado conhecimento do conteúdo publicado a respeito do tema proposto se faz necessário, e é através da pesquisa bibliográfica que isso se torna possível. Dessa forma, todo o embasamento científico necessário para justificar o andamento do trabalho será encontrado, tanto nas características qualitativas quanto quantitativas dos materiais em estudo.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 TRATAMENTO DE ESGOTOS**

O objetivo do tratamento de esgotos consiste na remoção da poluição presente no efluente pelo uso de processos químicos, físicos e biológicos para posterior lançamento nos corpos receptores. O tratamento físico permite a retirada de poluentes em suspensão; o biológico visa a remoção do material orgânico (biodegradável); e o químico principalmente na redução de poluentes orgânicos (não-biodegradáveis), também os patógenos e as substâncias tóxicas. Nessa pesquisa será dada ênfase à processo biológico, baseado em reatores de biofilmes para tratamento de esgotos.

São considerados como processos biológicos de tratamento de esgoto os processos que dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos; os fenômenos inerentes à alimentação são predominantes na transformação dos componentes complexos em compostos simples, tais como: sais minerais, gás carbônico e outros.

Os processos biológicos de tratamento procuram reproduzir em dispositivos racionalmente projetados, os fenômenos biológicos observados na natureza, condicionando-os em área e tempo economicamente justificáveis e podem ocorrer em condições aeróbias e anaeróbias.

#### **3.2 TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO**

No tratamento biológico aeróbio, os microrganismos, mediante processos de oxidação, degradam as substâncias orgânicas, que são assimiladas como "alimento" e fonte de energia. Dentre os processos aeróbios, o processo de lodos ativados é um dos mais aplicados e também, de maior eficiência. O termo lodos ativados designa a massa microbiana floculenta que se forma quando esgotos e outros efluentes biodegradáveis são submetidos à aeração.

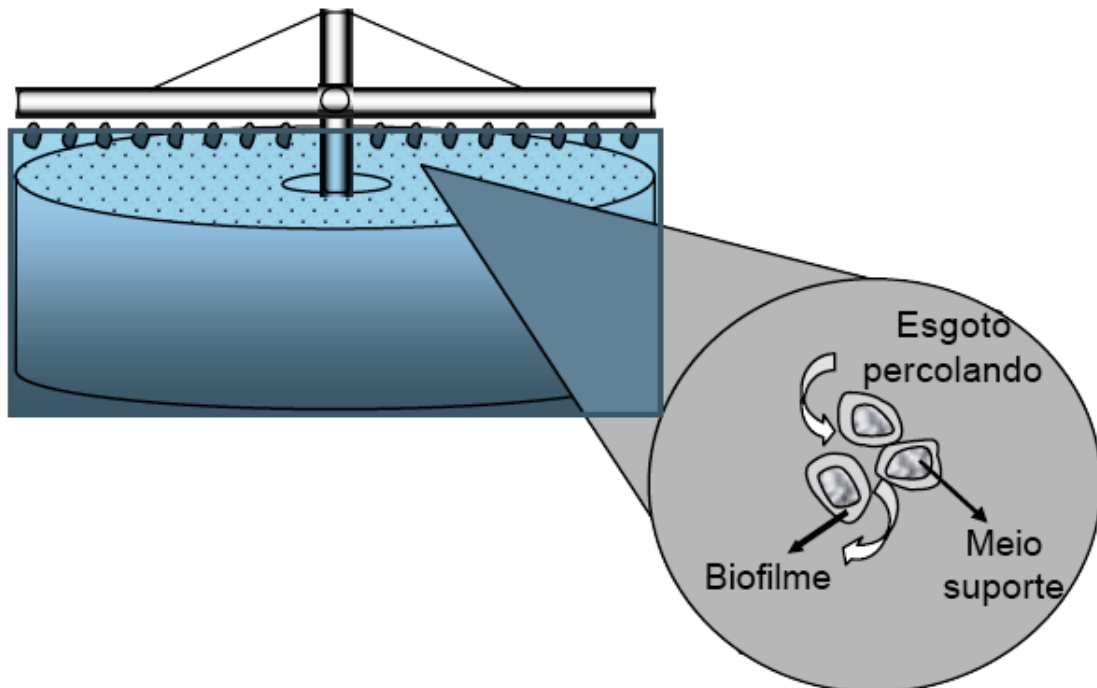
### 3.3 TRATAMENTO BIOLÓGICO ANAERÓBIO

No tratamento biológico anaeróbio, são utilizadas bactérias facultativas e estritamente anaeróbias para decomposição das substâncias orgânicas presentes no efluente. O esgoto ou lama é introduzido em um tanque fechado em condições anaeróbias (reator anaeróbio) e às vezes aquecido, com o intuito de acelerar a digestão. O tempo de detenção no tanque pode variar entre algumas horas ou semanas. O tratamento anaeróbio é geralmente apropriado para tratamento de efluentes contendo altas concentrações de substâncias orgânicas.

### 3.4 REATORES BIOLÓGICOS DE BIOMASSA ADERIDA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO

No reator biológico ocorre a conversão de poluentes a partir de mecanismos associados à biomassa aderida. O sistema é constituído de um tanque com meio suporte comumente constituído de PVC ou pedra britada número 4, sobre o qual os esgotos são aplicados continuamente por meio de distribuidores rotativos ou estacionários, conforme apresentado na figura 1. Os distribuidores rotativos são movidos pela própria carga hidráulica dos esgotos ou também podem ser motorizados, embora a adoção de distribuidores mecanizados resulte em consumo energético para o funcionamento do sistema. A variação da rotação dos distribuidores é uma das estratégias de operação empregadas para o controle do biofilme e eliminação de larvas de insetos reatores biológicos.

Figura 1 - Esquema de um reator biológico



Em termos de consumo energético, uma das grandes vantagens dos filtros biológicos percoladores refere-se à não necessidade de sistema de aeração. Em geral, os requisitos de oxigênio para o metabolismo aeróbio são atendidos a partir da circulação natural e convectiva, do ar pelo interior do volume reacional. O ar circula entre os interstícios do material suporte, sendo que a transferência de oxigênio para o biofilme é efetuada diretamente por meio de difusão molecular.

Quando chega ao reator, o esgoto permeia pelo meio suporte em direção aos drenos de fundo. Nesse caso, a percolação do esgoto permite o crescimento de microrganismos na superfície do material suporte que resulta na formação de uma matriz biológica ativa de consistência gelatinosa que contém fungos, bactérias facultativas, aeróbias e anaeróbias, algas e protozoários.

O líquido do esgoto escoar rapidamente pelo meio suporte entrando em contato com os microrganismos existentes no biofilme os quais são responsáveis pela conversão de determinados constituintes suspensos e solúveis presentes nos esgotos como carboidratos, lipídeos, amônia, entre outros. A matéria orgânica e inorgânica é adsorvida pela película microbiana ficando retida um tempo suficiente para a sua estabilização.



Em seguida, parte dos sólidos adsorvidos e a biomassa excedente são desalojados de forma contínua ou periódica do biofilme podendo elevar a concentração de sólidos suspensos no efluente final.

Esse efeito de desprendimento do biofilme ocorre devido a uma conjugação de fatores como tensão de cisalhamento causada pela velocidade de escoamento do líquido entre os vazios do meio suporte.

O reator biológico convencional conforme esquema da figura 1 empregado para o processo de filtração biológica é constituído por:

- a) tubulação de entrada de esgoto;
- b) coluna do distribuidor rotativo;
- c) distribuidor rotativo (torniquete hidráulico);
- d) meio suporte (leito de percolação);
- e) sistema de drenagem do esgoto tratado (efluente);
- f) tubos de ventilação.

### 3.5 PRINCÍPIO DO FUNCIONAMENTO DO REATOR BIOLÓGICO PERCOLADO

Santos (2005) comenta que o funcionamento do reator biológico se baseia na aplicação contínua e uniforme dos esgotos por meio de distribuidores hidráulicos, que percola pelo meio suporte em direção aos drenos de fundo. O reator biológico percolador funciona em fluxo contínuo e sem inundação da unidade. São sistemas aeróbios, permanentemente sujeitos à renovação do ar, que, naturalmente, circula nos espaços vazios do meio suporte, disponibilizando o oxigênio necessário para a respiração dos microrganismos.

Os FBP são sistemas de tratamento de esgotos baseados no princípio da oxidação bioquímica aeróbia do substrato orgânico presente nos esgotos. Algumas semanas após o início da percolação do esgoto, o meio de suporte recobre-se por uma película mucilaginosa povoada por bactérias (biofilme), com espessura entre 2 a 3 mm. A absorção dessa camada é mantida pela ação de microrganismo que depende de aeração contínua.

Segundo Pessoa e Jordão (1995), a intensa atividade biológica favorece o desenvolvimento de bactérias aeróbias, facultativas e anaeróbicas, predominando as bactérias

facultativas. Durante a percolação, uma parte da matéria viva ou morta, bem como parte da substância elaborada, é arrastada pela corrente líquida e pode ser identificada no efluente sob a forma de flocos em suspensão. Desta forma, os filtros biológicos em funcionamento se mantêm permanentemente em condições ótimas (KARL e KLAUS, 1996).

O tratamento de esgotos por filtração biológica convencional normalmente requer uma unidade de desinfecção para desativação de microrganismos causadores de doenças. O filtro biológico percolador (FBP) geralmente consegue reduzir a concentração de coliformes em apenas 1 a 2 unidades logarítmicas, o que não satisfaz as exigências da legislação ambiental, dependendo do grau de diluição no corpo receptor (SANTOS, 2005).

### 3.5.1 FILTRO BIOLÓGICO COM LEITO MÓVEL

Para resolver os problemas de colmatção, e obter uma transferência de oxigênio mais eficaz da fase líquida para o biofilme, foram desenvolvidos reatores com leito móvel. O leito pode ser movido mecanicamente (biodiscos ou agitadores), ou o suporte é mantido em suspensão pela passagem do líquido ou do gás (leito expandido ou fluidizado). Os sistemas de leitos móveis apresentam as seguintes vantagens: melhoria da transferência de massa, redução dos problemas de difusão no biofilme, otimização da cinética das reações bioquímicas em aumentando as zonas de transferências biofilme/líquido e aumento da superfície específica disponível ao crescimento bacteriano, devido às características do suporte (granulometria fina, entre 0,2 e 2 mm, e porosidade). Em consequência, obtém-se uma grande eficiência de remoção da poluição carbonácea e de nitrogênio. O tempo de detenção é baixo, o volume do reator é reduzido, não há problema de colmatção do leito e a produção de lodo é reduzida.

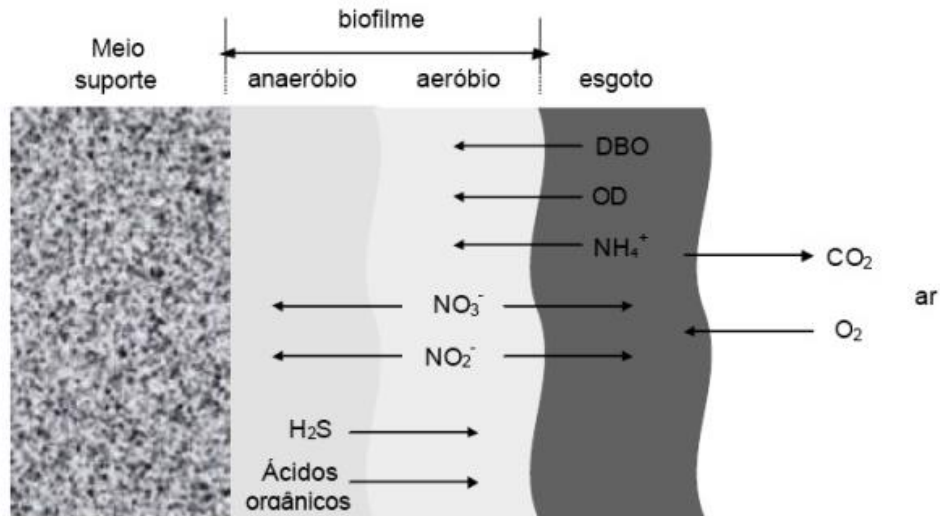
#### 4 FORMAÇÃO DO BIOFILME

A evolução dos materiais suportes adotados para crescimento dos biofilmes em reatores biológicos possibilitou um grande avanço a estes sistemas, melhorando o desempenho hidrodinâmico, a transferência de oxigênio e a capacidade de aplicação de elevada carga orgânica por volume de material suporte.

A formação do biofilme em superfícies de contato segue etapas de adsorção, adesão e aderência, onde os mecanismos de fixação e estabelecimento do biofilme dependem fortemente da comunidade microbiana, das atividades metabólicas e do tipo de superfície disponível para o desenvolvimento da colonização. Os fatores físicos, químicos e biológicos afetam a composição das matrizes heterogêneas a partir do comportamento hidrodinâmico no meio como as tensões de cisalhamento e fluxo de substrato para o interior das matrizes, da concentração e tipo de substrato e pela fisiologia das células (WIJEYEKOON 2004). Fatores físico-químicos como a ação eletrostática e o grau de hidrofobicidade da célula microbiana são igualmente de grande importância no processo de adesão inicial de microrganismos em superfícies sólidas (ROUXCHET e MOZES, 1990). Consolidada a adesão microbiana que é a primeira etapa do processo de formação de matrizes heterogêneas sob superfícies de contato, os microrganismos se reproduzem gerando substâncias poliméricas extracelulares que são frequentemente compostas por polissacarídeos e glicoproteínas, formando uma matriz gelatinosa heterogênea denominada biofilme (LESSARD e LE BIHAN, 2003) conforme apresentado no esquema da figura 2.

Para o início da formação do biofilme, destaca-se um aspecto de grande importância, onde as superfícies de contato devem ser irregulares e porosas ou providas de interstícios que são meios potenciais para o desenvolvimento inicial do biofilme. Além do mais, uma maior área superficial de aderência faz estimular a produção de exopolímeros, desencadeando um aumento da excreção de polissacarídeos por parte dos microrganismos.

Figura 2 - Representação esquemática de um biofilme, adaptado de METCALF & EDDY



Segundo LESSARD e LE BIHAN podem-se dividir as etapas de formação do biofilme em quatro estágios:

- a) 1º Estágio (deposição): Formação de uma camada de pequena espessura constituída de moléculas orgânicas e íons que geralmente não recobrem toda a superfície de contato. Todos os microrganismos presentes na matriz se desenvolvem em condições semelhantes. Nesse estágio a rugosidade da superfície é um fator de grande importância e contribui positivamente para a formação primária do biofilme. Atuam preponderantemente as ações eletrostáticas e de hidrofobicidade entre os microrganismos e a superfície sólida;
- b) 2º Estágio (metabólico e de adsorção): Adsorção aleatória de microrganismos, matéria orgânica e partículas abióticas na matriz primária. Nesse estágio o crescimento dos microrganismos ainda é constante, tendo em vista que os requisitos nutricionais são fornecidos com equanimidade;
- c) 3º Estágio (metabólico) Os Microrganismos consolidam sua aderência e devido às sucessões ecológicas recorrentes se desenvolvem de forma adaptada às condições estabelecidas pelo meio. O desenvolvimento do biofilme é conduzido ao equilíbrio dinâmico aparente. Os substratos encaminham-se a diferentes profundidades da matriz biológica (biofilme) por processos de difusão molecular e por movimentos convectivos do

líquido pelos canais formados no biofilme. A produção celular e de exopolímeros é continuada simultaneamente com a geração de subprodutos do metabolismo microbiano. Esses subprodutos são retornados à fase líquida mantida em interface com o biofilme;

- d) 4º Estágio (desprendimento ou remoção): O incremento na espessura do biofilme, resultante do crescimento de microrganismos, da produção de substâncias poliméricas e adsorção de partículas, são equilibradas pela influência da respiração endógena, quebra de cadeias alimentares e tensões de cisalhamento causadas pelo efeito hidrodinâmico do líquido em interface com o biofilme, promovendo o desprendimento do material que estava aderido no meio suporte.

#### 4.1 CONSTITUIÇÃO DO BIOFILME

O biofilme é constituído por cerca de 90% de água e as substâncias poliméricas extracelulares representam cerca de 50% no cômputo total de percentagem de massa. As cadeias poliméricas formadas pela decomposição de material celular, por exemplo, algas e bactérias, juntamente com as substâncias exopoliméricas presentes na superfície de organismos que integram o biofilme, formam uma estrutura capaz de estabilizar a adesão celular.

#### 4.2 FATORES PARA ADESÃO DO BIOFILME NO MEIO SUPORTE

A adesão do biofilme no meio suporte depende diretamente do tamanho, área superficial, geometria, rugosidade e do tipo de material usado como suporte nos filtros biológicos. Estas características têm uma forte influência no processo modificando a cinética de remoção da poluição. Os reatores de biofilme permitem a melhoria das reações biológicas, e o desenvolvimento de microrganismos com variável velocidade de crescimento. Desta forma o meio suporte desses reatores deve apresentar fatores que estimulem:

- a) concentração mais elevada de microrganismos ativos nos suportes, em consequência, apresenta uma elevada velocidade de remoção volumétrica e uma menor produção de lodo;
- b) a imobilização dos microrganismos que permitem a melhoria do contato da biomassa com o substrato;
- c) maior estabilidade do sistema, baixo tempo de retenção hidráulica e compacidade dos reatores;
- d) maior capacidade para absorver as grandes variações de cargas orgânicas (COSTA, 1989);
- e) menor sensibilidade aos efeitos de toxicidade de certos elementos, assim como a outras condições ambientais adversas;
- f) possibilidade de coexistência de atividade metabólica aeróbica e anóxica dentro do mesmo ecossistema de biomassa.

De acordo com Costa (1989) os biofilmes têm a habilidade para suportar uma grande variedade de população microbiana em variadas localidades dentro deste, as quais podem degradar diferentes substratos, bem como a capacidade de isolamento do glicocálix ao redor dos microrganismos, que os protege da ação danosa dos agentes tóxicos.

Para Lazarova e Manem (1994), os processos biológicos com cultura fixa podem ser classificados, primariamente, em dois grupos, de acordo com o estado do material suporte, em reatores de leito fixo e reatores de leito móvel.

## 5 MATERIAIS SUPORTES USUAIS PARA REATORES BIOLÓGICOS

O reconhecimento das vantagens oferecidas pelo processo de filtração biológica tem motivado diversas pesquisas, em especial as relativas ao meio suporte para favorecimento do processo de formação do biofilme em reatores biológicos.

Entre esses materiais tem sido de ampla aplicação o emprego de pedras ou britas como mostrado na figura 3. No entanto, desde 1953 módulos de PVC, polivinil clorado, vêm gradativamente ampliando o seu emprego. Esta preferência prende-se ao fato de que os elementos de plástico atendem a todas as propriedades físicas favoráveis ao processo biológico. (JORDÃO e PESSÔA 2011).

Quando se adota pedra britada estas devem ter diâmetro variando de 5 cm a 8 cm, previamente lavadas com água e isentas de outras substâncias capazes de prejudicar a eficiência do processo. O material não deve ter forma achatada, poros ou de fácil compactação. No caso do meio suporte ser de PVC, como exemplo de anéis plásticos randômicos, mostrado na figura 4, esse apresenta grande vantagem devido a que o meio plástico possui um maior coeficiente de vazios e superfície específica maior do que a das pedras. Outra vantagem do PVC é que o material é mais leve, sendo assim é mais fácil de transportar bem como facilita o arranjo dos tanques.

O tempo de detenção hidráulico efetivo dentro do reator é um parâmetro muito importante para a escolha de qual meio suporte deve ser usado, para a determinação do TDH sendo nesse caso fundamental saber o índice de vazios dos materiais usados como meio suporte. O ensaio para determinação do índice de vazios pode ser realizado por uma metodologia bastante simplificada. Um recipiente de volume conhecido contendo as peças do material previamente molhado deve ser completamente preenchido com água até o nível de transbordamento. Dividindo-se o volume de água adicionado pelo volume do recipiente obtem-se o índice de vazios.



Figura 3 – Reator biológico com Pedra Britada Nº 4



Figura 4 – Reator Biológico com anéis plásticos randômicos



Para a escolha do tipo de enchimento necessita-se do peso específico, da superfície específica e do índice de vazios. O peso específico do meio suporte refere-se principalmente à questão estrutural do filtro biológico. A superfície específica do meio suporte está relacionada com a área de contato entre o líquido e o biofilme formado. O índice de vazios influencia a circulação dos esgotos e do ar, por entre a camada suporte. A extensão da superfície recoberta de película biologicamente ativa em  $1\text{ m}^3$  de filtro depende da granulometria do meio. A granulação menor deverá ser mais eficiente pois em  $1\text{ m}^3$  de filtro, haverá maior superfície recoberta. A pedra britada de 4 a 8 cm, por exemplo, possui uma superfície de  $45\text{ m}^2/\text{m}^3$ , ao passo que a brita entre 2,5 e 4 cm tem-na de  $60\text{ m}^2/\text{m}^3$ , então  $1\text{ m}^3$  de pedras de 3 cm de diâmetro médio deveria ser capaz de tratar o dobro da vazão de esgoto que pode ser tratado por  $1\text{ m}^3$  de pedras de 6 cm. Contudo, sucede que cada interstício individual entre as pedras de 3 cm vale só um oitavo do volume de cada interstício entre as pedras de 6 cm, devendo-se reconhecer que, a partir de determinado tamanho dos fragmentos, há um limite, abaixo do qual não é mais possível haver espaço para a camada biológica bem como a passagem de ar e esgoto.

## 6 CUSTOS DE MATERIAS SUPORTES VENDIDOS NO MERCADO

Um levantamento dos custos levou à seleção do produto comercial disponível no mercado para enchimento dos filtros. A tabela 1 apresenta em resumo informações básicas das principais empresas contatadas para aquisição de material fabricado industrialmente para enchimento de reatores biológicos de tratamento de esgotos. Nesta tabela 1 estão apresentados apenas dados sobre anéis de plástico.

Tabela 1 – Preço meio suporte comercial

EMPRESA	PRODUTO (tipo do anel)	DIMENSÃO (mm)	CUSTO/m <sup>3</sup>
CELENE	RASCHIG	25	R\$ 1.495,00
DISTALL	PALL	16	R\$ 1.854,00
KEMPRO	PALL	25	R\$ 983,00
HIDROVITAE	HIDROBOL		R\$ 550,00

Entre as marcas levantadas, o produto HIDROBOL apresentou o menor custo por metro cúbico, sendo este feito de material plástico conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Anéis Plásticos marca HIDROBOL



## **7 MATERIAIS E MÉTODOS PESQUISADOS**

Os materiais estudados foram selecionados a partir dos seguintes critérios: disponibilidade local, baixo custo de transporte, distribuição homogênea, tamanho de partículas, rugosidade superficial entre outros fatores.

A densidade do material escolhido foi criteriosa levando em conta que essa característica é muito importante para o bom desempenho e funcionamento do reator. A densidade do meio suporte interfere diretamente na questão estrutural do reator biológico.

A superfície específica do meio suporte está relacionada com a área de contato entre o líquido e o biofilme formado. O índice de vazios influencia a circulação dos esgotos e do ar, por entre a camada suporte, mantendo o ambiente nas condições aeróbias favoráveis ao equilíbrio da cultura biológica.

A hidrofobicidade do material suporte escolhido deve apresentar parâmetros compatíveis com o resultado esperado no seu desempenho.

## 8 MATERIAIS SUPORTE ALTERNATIVOS

Em virtude do elevado custo atribuído aos materiais de caráter sintético disponíveis no mercado, que apresentam como característica a elevada área superficial específica e baixo peso específico, atualmente pesquisadas na área de tratamento de esgoto propõem outros tipos de materiais que sirvam como suporte para reatores biológicos e apresentem bom desempenho, otimizando custos de operação.

De acordo com JORDÃO e PESSÔA os materiais devem apresentar como características básicas os seguintes parâmetros:

- a) o material deverá ser inerte e rígido, não afetado por reações biológicas, desgastes excessivos, e deverá permitir esforços de peso do homem sobre a superfície do meio suporte;
- b) as dimensões influem na seleção do meio suporte devido aos valores da superfície específica e do volume de vazios, e conseqüentemente do volume útil;
- c) o peso específico influi diretamente no cálculo estrutural, no transporte e no manuseio;
- d) a superfície específica influi na capacidade de reter a biomassa e conseqüentemente no desempenho do processo.

Após essas premissas, a pesquisa apresentará alternativas de meio suporte para reatores biológicos, dos seguintes resíduos:

- a) retalhos de couro;
- b) pneu triturado;
- c) PET.

## 8.1 RETALHOS DE COURO

O crescimento populacional trouxe um consumo dos recursos naturais, bastante acelerado nas últimas décadas. O desenvolvimento humano, juntamente com o desenvolvimento industrial, aumentou o volume de utilização do couro oriundo de animais bovinos o que exigiu uma racionalização e alocação adequada desses materiais como forma de reduzir o impacto ambiental. Sendo assim, após tratamento prévio do resíduo do couro esse material se torna muito interessante para ser usado como suporte em reatores biológicos.

Testes mostram que após uma lavagem prévia dos retalhos de couro ocorre liberação prévia das formas de cromo, substância essa empregada no curtimento do couro. Após esse tratamento prévio o material mostra-se não tóxico e com possibilidade de adesão do biofilme na sua superfície (GUTTERRES , 2006).

Segundo a bibliografia de Amaral (2005), foram realizados estudos de descromagem de resíduos de couro utilizando ácidos hidroxâmicos, conhecidos pela característica de formar complexos solúveis ou insolúveis coloridos com metais de transição. Para tanto, foi utilizada solução aquosa a 2% do ácido e feito o ajuste de pH. Após um período de 36 horas a solução foi filtrada. O cromo passou para a fase líquida e a proteína obtida foi dissolvida em mistura de ácidos.

## 8.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO COURO

Conforme Gutterres (2016) os principais componentes do couro são proteínas, graxos, água e outros componentes orgânicos, características que tornam o material inerte ao meio.

Gutterres (2016) recomenda que para se determinar a quantidade de água absorvida no couro, pode-se utilizar o método de Kubelka. O procedimento é baseado na medição do volume absorvido pelo corpo de prova depois de um tempo de imersão em água destilada. Após testes realizados pelo LACOURO - UFRGS constatou-se que o couro apresenta grande capacidade de absorção de água até sua saturação conferindo baixa hidrofobicidade do material. Essa condição de boa capacidade de absorção de água pelo couro favorece a formação da primeira camada de biofilme.

Para a determinação da densidade do couro foi utilizado um ensaio e aplicanda uma fórmula simples de massa sobre volume, seguindo os seguintes passos :

- a) pesando uma tira de couro obteve-se uma massa de 4,3 gramas;
- b) determinando o volume da tira de couro obteve-se um volume de 5 ml;
- c) resolvendo a fórmula Densidade =  $m/v = 4,3/5 = 0,86$  g/ml.

Essa densidade encontrada para o couro é razoável para a finalidade de sua utilização como material suporte em reatores biológicos, conforme bibliográficas revisadas.

A rugosidade do couro também se apresenta com potencial desempenho na aderência do biofilme em sua superfície.

A área superficial específica do meio suporte deve-se situar em torno de  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (MONTEGGIA, 2003), dessa maneira deve-se preparar os retalhos de couro para que essa medida seja respeitada. Os retalhos oriundos dos curtumes devem se apresentar em tamanhos irregulares, conforme mostra figura 6, esse material deve ser lixiviado conforme explicado anteriormente e cortado em pedaços e como recomendado pela bibliografia estudada.

Figura 6 – Retalhos de couro



## 9 PNEU TRITURADO

A destinação final de pneus vem se delineando como um grande problema ambiental na atualidade, pois esses não se degradam no meio ambiente e assim não podem ser dispostos em aterros. Também é comum o serviço público urbano de lixo não receber o pneu que acaba se depositando em várias partes das cidades, sendo um meio ideal para proliferação de vetores.

Segundo a ANIP (2013), o Brasil produziu em 2012 cerca de 61,3 milhões de pneus, quase 35% disso são exportados para 85 países, e o restante roda nos veículos nacionais. Apesar do alto índice de recauchutagem no país, que prolonga a vida dos pneus em 40%, a maior parte deles, já desgastada pelo uso, acaba parando nos lixões, na beira de rios e estradas, e até no quintal das casas, onde acumulam água que atrai insetos transmissores de doenças.

A destinação adequada dos pneus após o uso, merece atenção especial por parte das indústrias e do governo, diante dos inconvenientes proporcionados pela disposição descontrolada deste resíduo (NICIURA, 2005).

Com isso torna-se pertinente propor que esse resíduo depois de passar por processo de trituração e tratamento prévio para liberação de suas toxinas possa ser aproveitado para compor o meio suporte de reatores biológicos, otimizando custos e aproveitando um material que poderia poluir o meio ambiente.

A composição do pneu está baseada em materiais inertes conforme mostrado na tabela 2, essa combinação de materiais formadores do pneu podem favorecerem o desenvolvimento do biofilme tornando-se possível meio suporte para reatores biológicos no tratamento de esgoto .



Tabela 2 - Composição dos materiais constituintes dos pneus

<b>COMPOSIÇÃO MÉDIA</b>	<b>% EM PESO</b>
Elastômero	52
Fibras	6
Aço	11
Negro de Fumo	31

Segundo NICIURA (2012), o moinho de facas é o processo de moagem mais indicado para a trituração do pneu para os tamanhos que se deseja obter para que o pneu possa ser utilizado na confecção do material suporte de reatores biológicos. As lâminas passam pelo material reduzindo-se seu tamanho sucessivamente. O moinho de facas é o método mais indicado devido a presença de tecidos de aço, necessitando de maior número de cortes.

Após o processo de trituração recomenda-se um tratamento prévio do pneu por lixiviação de resíduos conforme NBR 10005 e NBR 10006 que trata da solubilização de Resíduos .

Conforme pesquisa de NICIURA (2005) o tamanho do meio suporte composto por pneus triturados deve obedecer tamanhos regulares conforme mostra a figura 7.

### 9.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO PNEU

Um pneu é construído, basicamente, com uma mistura de borracha natural e de elastômeros (polímeros com propriedades físicas semelhantes às da borracha natural), também chamados de "borrachas sintéticas".

A densidade do pneu é em média aproximadamente 1,1 g/cm<sup>3</sup>, valor que torna o material capaz que ser utilizado como meio suporte, atendendo à recomendação da literatura estudada.

A rugosidade do pneu confere ao material potencial desenvolvimento do biofilme, assim como seu índice de vazios e superfície específica.

Após visita ao LAPOL (Laboratório de Polímeros- UFRGS), constatou-se que o pneu apresenta boa resistência a agentes biodegradáveis como também longa vida útil em contato com substâncias orgânicas. A figura 7 mostra uma dimensão do tamanho do pneu usado como meio suporte em reatores biológicos.

Figura 7 – Tamanho aproximado de pneus como meio suporte



## 10 PET (POLITEREFTALATO DE ETILA)

Segundo a ABIPET (2008), o Brasil é o segundo país que mais recicla PET no mundo, atrás somente do Japão. Em 2007, foram recicladas 231.000 toneladas de PET no Brasil, com um percentual de 53,5% do PET reciclado sobre o consumo virgem.

Com um crescimento anual de 10%, o mercado brasileiro de PET, estimado em cerca de 410 mil toneladas em 2017, mantém tendência de alta desde a introdução da resina no país. O consumo o cresceu em apenas 8 anos o equivalente a 10.000% (FERRO, 2002).

### 10.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO PET

Conforme testes realizados pelo Lapol da UFRGS o PET apresenta uma densidade na faixa entre 1,33 – 1,39 g/cm<sup>3</sup> conferindo ao material boa capacidade mecânica sendo esse passível como alternativa de meio suporte em reatores biológicos.

A superfície do PET é lisa, conferindo ao material baixa rugosidade, fator que pode prejudicar a adesão da bactéria. A escolha do PET como suporte para reatores biológicos foi proposital, já que é uma superfície lisa e com características distintas dos outros materiais que serão analisados.

Observa-se que o PET, em seu estado natural (sem tratamento) já apresenta uma superfície porosa que se acentua com o tratamento químico efetuado com ácido nítrico, permitindo um aumento na rugosidade do material e conseqüentemente uma melhor aderência da biomassa.

## 11 LOGÍSTICA REVERSA

A Política Nacional de Resíduos – instituída pela lei 12.305/2010, estabelece a logística reversa, que compartilha a responsabilidade pelo destino dos materiais. O instrumento viabiliza a restituição dos resíduos ao setor empresarial, para reaproveitamento. A figura 8 ilustra um esquema da cadeia de suplementos reversa como modelo para otimizar os recursos oriundos da indústria.

Figura 8 – Ciclo da logística reversa



A implantação da logística reversa também contribui para o avanço na discussão de sustentabilidade, ampliada para as dimensões sociais e ambientais, no caso de tratar efluentes com reuso de resíduos, esse deve receber maior atenção e investimentos de pesquisas pela otimização desses processos.

## **12 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)**

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica de caracterização microestrutural muito utilizada, tanto na área biológica quanto em outras áreas do conhecimento. Possui metodologia versátil, atualmente está disponível em diversos laboratórios. A versatilidade do microscópio eletrônico de varredura deve-se à diversidade de interações que ocorrem quando o feixe de elétrons atinge a amostra. Essas interações, avaliadas por diferentes detectores, fornecem informações sobre a composição e as formas estruturais dos compostos analisados.

De acordo com Neves (2004), a microscopia eletrônica de varredura, é uma ferramenta largamente utilizada no estudo de biofilmes, permitindo obter informações sobre o crescimento da atividade microbiana e características de seu desenvolvimento. Conforme literatura estudada, diversas análises de MEV foram realizadas a fim de se verificar o crescimento de microrganismos sobre diferentes superfícies.

### **12.1 CMM – CENTRO DE MICROSCOPIA E MICROANÁLISE**

O CMM é um laboratório da UFRGS, localizado no campus do Vale e tem por objetivo oferecer condições efetivas para o uso dos recursos da microscopia eletrônica e outras técnicas de caracterização micro e nano estrutural em atividades relacionadas ao ensino, à pesquisa básica, à pesquisa aplicada e à extensão universitária.

A análise experimental realizada junto ao CMM deu ênfase em acompanhar o crescimento e o desenvolvimento do biofilme nas superfícies analisadas, no caso o couro, pneu e PET. O método mais usual para monitorar o desenvolvimento do biofilme nessas superfícies é por análise de microscopia eletrônica de varredura. A mesma foi realizada no Centro de Microscopia e Microanálise da UFRGS com o auxílio e coordenação das técnicas Denise Bohn e Raquel Wigg.

### 13 SISTEMA EXPERIMENTAL

A avaliação do desenvolvimento do biofilme nos materiais selecionados neste estudo foi realizada mediante instalação de corpos de prova em dois sistemas experimentais de tratamento de esgoto sanitário, a seguir identificados.

- Câmara aeróbia final do processo aeróbio de lodo ativado, operado na configuração Bardenpho 5 estágios.

- Câmara de decantação de reator anaeróbico tipo UASB.

Estes sistemas experimentais estão localizados na Estação experimental de tratamento de esgotos do IPH/UFRGS, localizada junto à estação de tratamento de esgotos São João Navegantes do DMAE/POA, localizada na Avenida A. J. Renner, nº 495, bairro Humaitá no município de Porto Alegre.

Na figura 9, está apresentado o esquema feito para as amostras serem colocadas nas câmaras. As amostras de couro, PET e pneu foram cortadas com geometria circular e diâmetro de 1 cm, essa medida confere dimensões compatíveis para posteriormente serem analisadas no microscópio eletrônico do CMM – UFRGS

Figura 9 – Amostras para o desenvolvimento do biofilme



As amostras foram amarradas com arame galvanizado de pouca espessura, com característica maleável para facilitar o posicionamento das amostras de maneira estável e emergidas permanentemente no reator biológico, não oferecendo o risco de qualquer avaria para amostra. Desta maneira, foi possível garantir a estabilidade para que as amostras apresentassem o fiel resultado esperado no que diz respeito ao desenvolvimento do biofilme na sua superfície. Na extremidade emergida do arame foi colocado arruelas com massa aproximada de 15 gramas para evitar possível flutuação das amostras.

As seis amostras foram colocadas no dia 19 de setembro de 2016 nas câmaras aeróbia do reator de Bardenpho e na câmara de decantação do reator anaeróbio tipo UASB conforme mostra a figura 10. As amostras foram identificadas com diferentes cores, para isso foi usado sucata de plástico com uma distinção de cores que serviram para a identificação de cada amostra, respeitando a seguinte convenção: cor amarela para amostra de couro, cor vermelha para amostras de PET e cor preta para amostras de pneu.

Figura 10 – Colocação das amostras nas câmaras de esgoto



No dia 10 de outubro de 2016 as amostras foram retiradas das câmaras. Após 21 dias de emersão nas condições aeróbica e anaeróbica das câmaras da estação experimental, as amostras foram imediatamente colocadas em solução de glutaraldeído com concentração de 2,5 %, e levadas para o centro de microscopia eletrônica (CMM- UFRGS) localizado no campus do vale, onde começou o processo de preparação das mesmas.

### 13.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para obtenção de imagens representativas no microscópio eletrônico de varredura, foram adotados procedimentos padronizados, recomendados pelos técnicos do CMM, destacando-se o procedimento prévio de desidratação e estabilização do material a ser analisado, nesse caso o biofilme. Segundo a técnica Raquel do CMM – UFRGS, imediatamente após a retirada das amostras das câmaras de esgoto, essas devem passar pelo processo de preparação previamente definidos na seguinte ordem: fixação, lavagem, desidratação, dessecação e metalização.

### 13.2 FIXAÇÃO

O fixador ideal para microscopia eletrônica de varredura é aquele que contém na fórmula o glutaraldeído. O fixador faz com que o material fique exatamente como estava na forma viva, contribuindo também para que o tecido fique mais rígido, esse processo visa uma preparação para que a amostra receba o feixe de elétrons ou passe pelo aparelho de “ponto crítico”, por exemplo, sem a ocorrência de danos na superfície.

As concentrações usadas na etapa de fixação foram definidas conforme a bibliografia estudada e também recomendadas pelos técnicos do CMM.

Glutaraldeído 25%	_____	1,2ml
Tampão Fosfato 0,2M	_____	5,0ml
H <sub>2</sub> O destilada	_____	3,8ml

A fixação do material, por imersão, foi feita imediatamente após a coleta das amostras nas câmaras de esgoto. Conforme a técnica Raquel, o material ficou sete dias imerso nessa solução acondicionadas num tubo Falcon e refrigeradas na geladeira numa temperatura de 4 °C



Após a fixação, o material foi lavado com uma solução tampão, sendo esse processo de lavagem é necessário para retirar o excesso de fixador, para isso foi usado solução Tampão Fosfato 0,2 M, além de água destilada na proporção de 1:1.

### 13.3 DESSECAÇÃO

Após o processo de fixação o material foi desidratado de uma maneira lenta e gradual. Esse procedimento foi necessário para que se retirasse toda a umidade da amostra, já que o microscópio trabalha sob vácuo e a presença de água pode danificar o aparelho.

Para que a amostra sofresse toda a remoção da umidade, o material foi submetido a diferentes condições na solução de etanol, sendo que as amostras ficaram emergidas nesse líquido por diferentes intervalos de tempos e concentrações conforme mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Concentrações de acetona pra diferentes tempos

<b>Etanol (%)</b>	<b>Tempo (minutos)</b>
30	10
50	10
70	10
90	10
100	10
100	20

### 13.4 METALIZAÇÃO

O processo de metalização consiste na aplicação de uma camada de ouro, através do processo de eletrodeposição, sendo que a metalização tem como objetivo principal, tornar o material mais condutivo por meio de deposição de um metal bom condutor sobre a amostra. Para isso, foi usada uma camada de ouro em cada amostra, formando uma película micrométrica de material condutor, que possibilitou a condução da corrente elétrica. Após a etapa da metalização, as amostras ficaram prontas para serem analisadas no microscópio eletrônico.

No dia 4 de novembro de 2016, foi agendada a análise das amostras junto ao CMM – UFRGS, nessa data o técnico Fabrício Witt colheu as amostras que já estavam em condições de serem colocadas no microscópio eletrônico e as fixou nos Stub's. Essa fixação foi feita com fita carbono e após as amostras terem sido fixadas o microscópio começou a gerar imagens no computador.

## 14 GERAÇÃO DE IMAGENS

O microscópio eletrônico usado para análise das amostras foi o modelo MEV Joel JSM-6060, mostrado na figura 11. O aparelho foi operado pelo técnico Fabrício Witt do CMM-UFRGS.

Figura 11 – Microscópio eletrônico modelo Joel JSM - 6060



Esse modelo de microscópio gera imagens instantâneas no monitor acoplado, com visualização ajustada de forma lenta e gradual visando a geração de imagens nítidas e com boa resolução.

## 15 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens geradas pelo microscópio constataram uma diferença significativa na estrutura e forma de crescimento do biofilme, para as diferentes superfícies analisadas, conforme mostra as imagens a seguir. Notou-se claramente que para diferentes materiais a intensidade de crescimento do biofilme foi diferenciada.

Figura 12 – Crescimento do biofilme no couro - câmara aeróbia final do processo Bardenpho

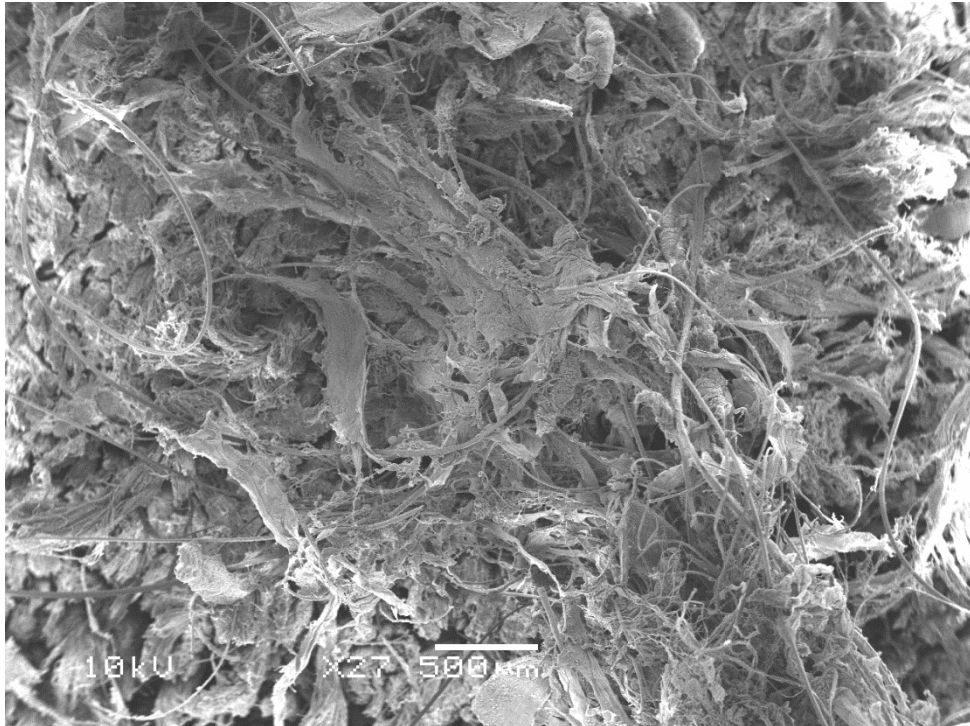


Figura 13 – Crescimento do biofilme no pneu - câmara aeróbia final do processo Bardenpho

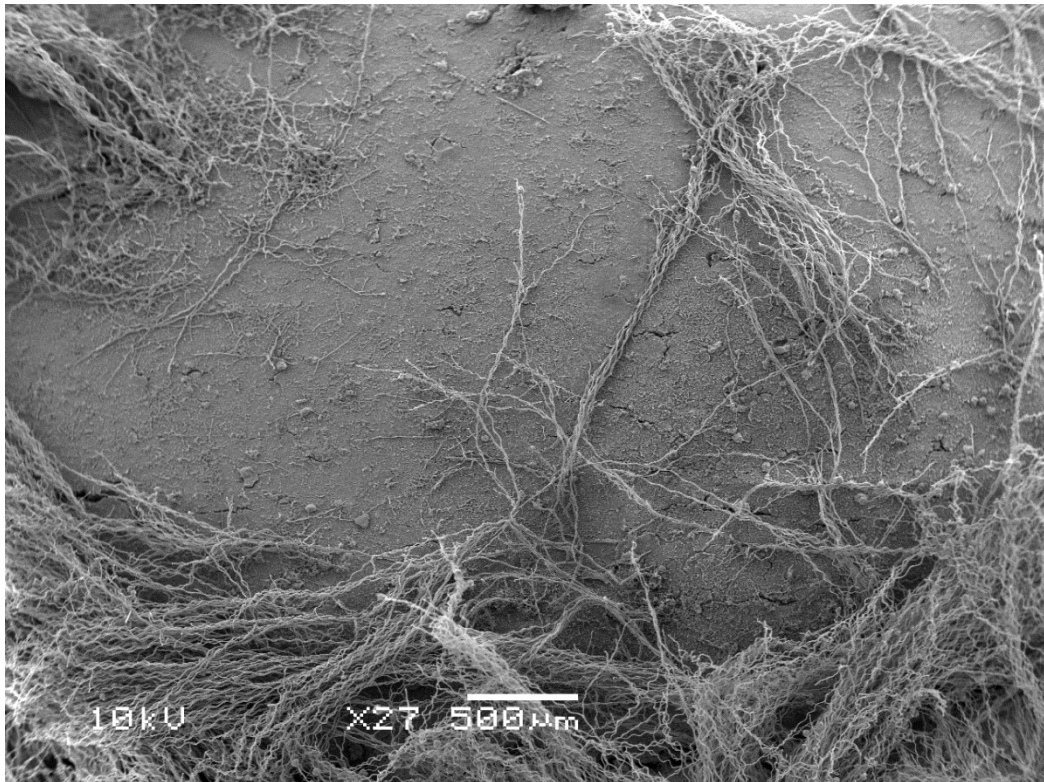
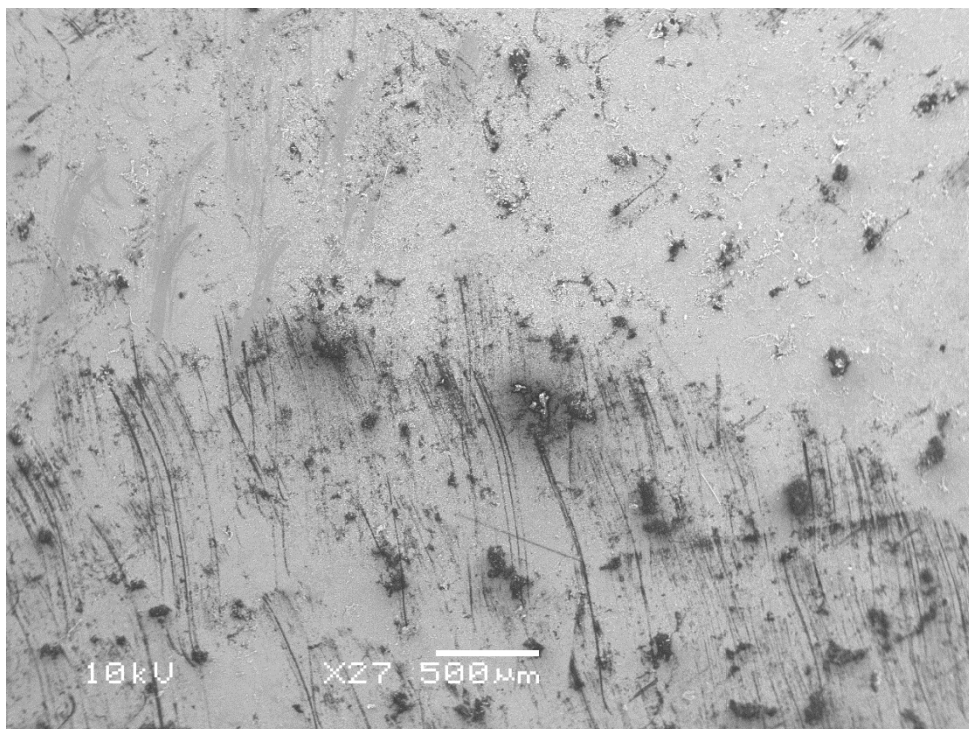


Figura 14 – Crescimento do biofilme no PET - câmara aeróbia final do processo Bardenpho



Analisando as imagens que foram aumentadas 27 vezes pelo microscópio eletrônico, conclui-se que o couro apresentou o maior crescimento do biofilme, o biofilme se desenvolveu de forma mais robusta e regular.

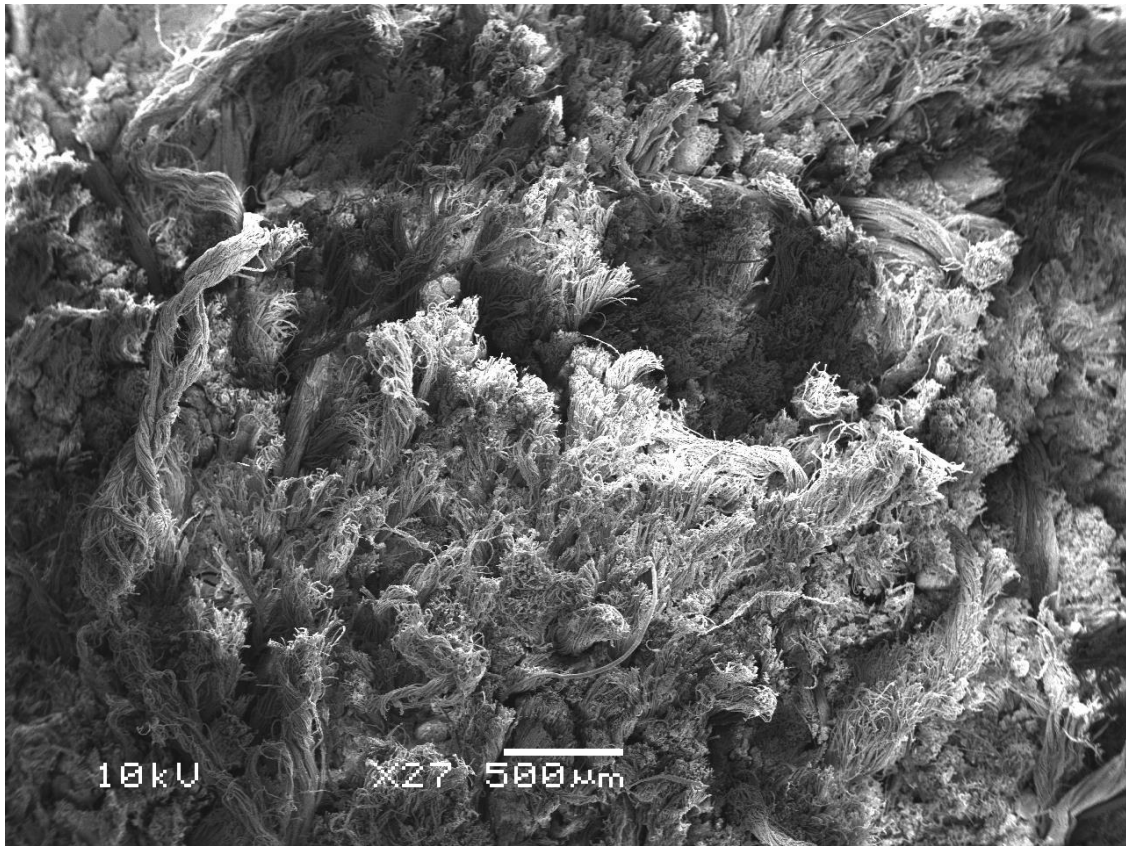
Já na superfície do pneu o biofilme se desenvolveu de forma mais irregular, o crescimento foi pouco denso, com formação de filamentos mais finos e uma malha mais dispersa de biofilme.

No caso do PET o biofilme apresentou pouco desenvolvimento, com pouca aderência dos microrganismos neste tipo de material, conforme mostrado na figura 14. Acredita-se que o desenvolvimento do biofilme no PET foi afetado principalmente pelas características físicas do material, pois esse apresenta baixa rugosidade e pouco capacidade de absorção de água.

As amostras coletadas da condição anaeróbica da câmara de decantação do reator UASB, apresentaram uma colonização diferente das câmaras aeróbia do processo Bardenpho, sendo que essa distinção se deu principalmente no volume de biofilme produzido e na estrutura de formação dos microrganismos.

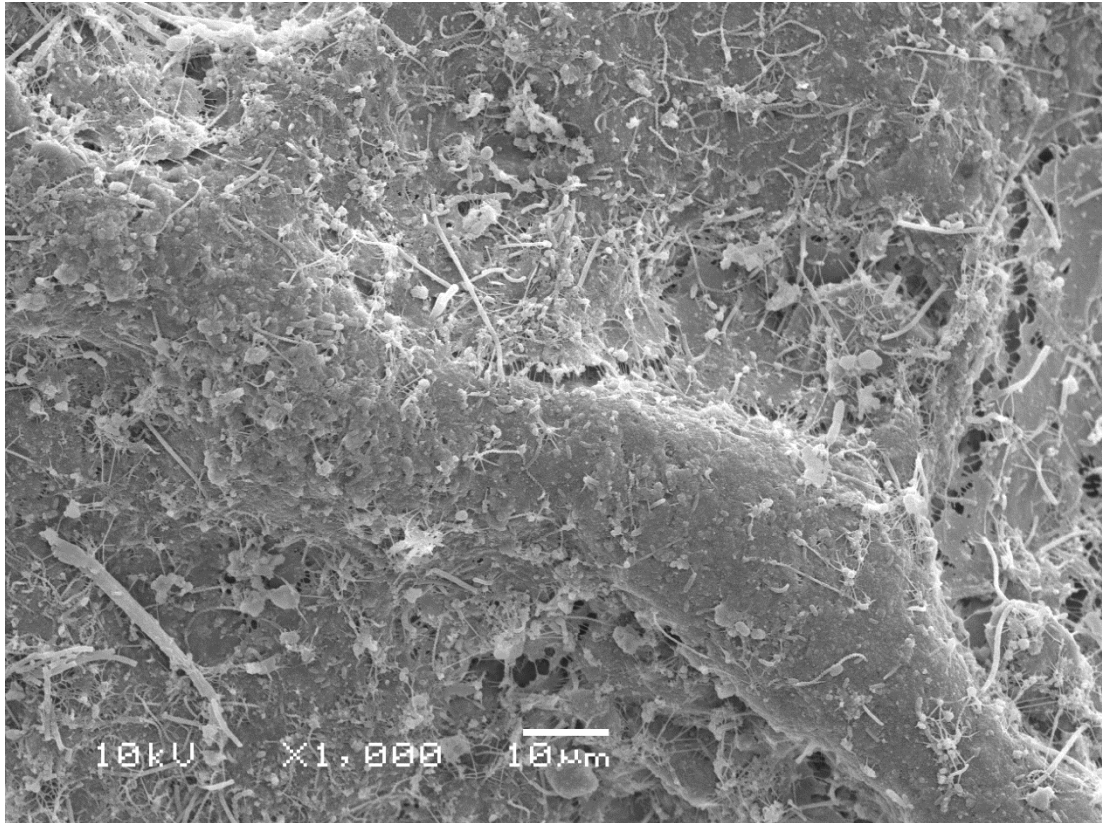
A figura 15 mostra que o crescimento do biofilme na condição anaeróbica para o couro foi menor que na situação aeróbica, os filamentos são menores e a densidade de microrganismos também foi menor, fato que já era esperado por se tratar de uma condição com menor concentração de oxigênio.

Figura 15 – Crescimento do biofilme no couro – câmara de decantação do reator UASB.



Para o caso da amostra de pneu na câmara tipo UASB, a figura 15 mostra que na condição anaeróbica o crescimento do biofilme é muito limitado. A imagem representa pouco volume de biofilme aderido no pneu, assim como poucos e pequenos filamentos de microrganismos.

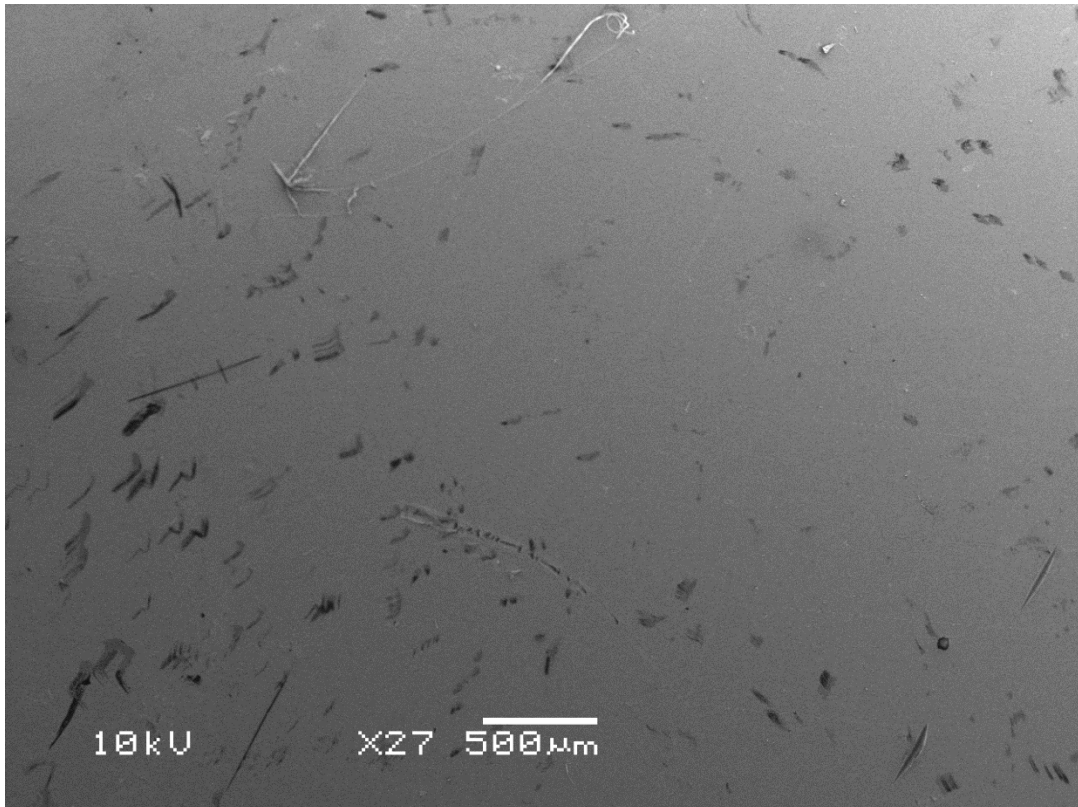
Figura 16 – Crescimento do biofilme no pneu - câmara de decantação do reator UASB.



Para o PET submetido as condições anaeróbicas na câmara decantação do reator UASB, o desenvolvimento do biofilme foi quase imperceptível, indicando que o tempo de 21 dias não foi o suficiente para desenvolvimento do biofilme. A figura 17 constata pouquíssimo biofilme aderido na superfície do PET.



Figura 17 – Crescimento do biofilme no PET - câmara de decantação do reator UASB



Todas as imagens foram aumentadas 27 vezes pelo microscópio, sendo que essa ampliação das imagens gerou uma boa visualização e condições para se diferenciar a densidade e a estrutura do biofilme que cresceu nas diferentes superfícies analisadas.

Essa pesquisa apresenta foco no desenvolvimento do biofilme nos materiais propostos para as condições aeróbias e anaeróbias. A conformação final desses resíduos como o tamanho, a forma (anéis, placas, pedaços) e o arranjo que determina o índice de vazios e superfície específica seria a etapa seguinte desta linha de pesquisa.

## 16 CONCLUSÕES

Ao término dessa pesquisa, conclui-se que o biofilme é passível de se desenvolver em diversos tipos de superfícies, como é o caso do PET, pneu e couro, sendo que a intensidade da formação de microrganismos na superfície dos diferentes meios suportes está diretamente ligada a parâmetros físico-químicos do material.

As imagens geradas pelo microscópio eletrônico nessa pesquisa, evidenciam que o couro teve o melhor desempenho para o crescimento do biofilme, fato esse já esperado por se tratar de um material com maior concentração de matéria orgânica entre os materiais analisados. O couro se mostrou um material com ótimo desempenho na adesão do biofilme, apresentando o maior crescimento inicial na formação do biofilme. A eficiência do couro para esses fins ficou evidenciada devido à velocidade de crescimento do biofilme na superfície da amostra, como pode ser observado nas fotos obtidas com o microscópio eletrônico de varredura, observou-se também que na superfície do couro formou-se uma diversidade de microrganismos que compõem o biofilme, por diferentes tipos e formas de bactérias e fungos.

Resíduos de couro oriundo de curtumes se mostram de fácil acesso, baixo custo para aquisição, podem ser facilmente manipulados, com abundância no mercado de resíduos da indústria coureira. Esse material também se mostra interessante no aspecto econômico, uma vez que tem baixo custo de aquisição.

Embora em menor escala de desempenho para o desenvolvimento do biofilme, o pneu e do PET também podem ser usados como material suporte em reatores biológicos, pois conforme mostram as fotos de microscopia eles também desenvolveram uma camada de microrganismos após 21 dias de imersão na câmara aeróbia do processo Bardenpho.

Foi observado menor crescimento do biofilme na câmara de decantação do reator UASB, especialmente para o caso do PET, o que pode ser justificado pelo menor crescimento de microrganismos em condições anaeróbias.

Pode também ser inferido que o pneu e o PET precisariam de maior tempo de imersão para o desenvolvimento de maiores volumes de biofilme nas suas superfícies.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, L. A.; **Gerenciamento de resíduos industriais - Co-processamento, Trabalho de conclusão em Engenharia Química**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química (DEQUI). Porto Alegre, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, **NBR-12.209**, Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário.
- COSTA, E.; PÈREZ, J.; KREFT, J. **Why is metabolic labour divided in nitrification?** *TRENDS in Microbiology*. v. 14, nº5, p 213-219, 1989.
- GUTTERRES, M.; **material utilizado na disciplina Tópicos Avançados em Couro e Meio Ambiente, ministrada no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2006.
- KARL & KLAUS, (1996); **manual de tratamento de águas residuárias**. 7 ed São Paulo
- LESSARD, P.; LE BIHAN, Y. Fixed film process. In: MARA, D.; HORAN, N. **The handbook of water and wastewater microbiology**, 2003..
- LAZAROVA, V.; MANEM, J. Biofilm Characterization and Activity Analysis in Water and Wastewater Treatment. **Water Research**, v. 29, p.2227-2245, 1994.
- METCALF & EDDY. **Wastewater engineering – treatment, disposal and reuse**. 4rd edition, McGraw-Hill, Inc. New York, 2003.
- MONTEGGIA, L.O; OLIVEIRA; D; TESSELE **Estudo das Características Hidrodinâmicas de Flotador em Dois Estágios para Pós Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbicos**, 2003.
- NEVES, L. **Caracterização de biomassa anaeróbia granular** : análise qualitativa e quantitativa de imagem, hibridização com sondas genéticas (FISH) e técnicas histológicas. 217 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente) Universidade do Minho, Braga, 2004.
- NICIURA, Cristiano Luchese. **Uso da banda de rotação como suporte ao desenvolvimento de biofilme** .Universidade São Carlos, 2005
- PESSÔA e JORDÃO, Constantino Arruda; JORDÃO, Eduardo Pacheco,. . **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed São Paulo: ABES, 2011.
- ROUXHET, P. G.; MOZES, N. **Physical chemistry of the interface between attached microorganisms and their support**. *Water Science and Technology*. v.22, nº1/2, p.1-16, 1990.
- SANTOS, Ana Silva Pereira. **Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolado em diferentes meios suporte**. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – 2005.

YOUNG, J.C. and McCARTY, P.L. **The Anaerobic filter for waste treatment.** J. Water Pollution Control Federation, 1990.

WIJEYEKOON, S.; MINO, T.; SATOH, H.; MATSUO T. **Effects of substrate loading rate on biofilm structure.** *Water Research*, 38, p. 2479-2488, 2004.