

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL**

**JOYCE GABRIELLA DIAS DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE ACABAMENTO TÊXTIL ANTIMICROBIANO**  
**UTILIZANDO ECO-MOF**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**APUCARANA**

**2019**

**JOYCE GABRIELLA DIAS DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE ACABAMENTO TÊXTIL ANTIMICROBIANO  
UTILIZANDO ECO-MOF**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Pereira Moisés.  
Coorientador: Prof. Dr. Fabricio Maestá Bezerra.

**APUCARANA**

**2019**



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Apucarana  
COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil



### **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título do Trabalho de Conclusão de Curso:**

**Desenvolvimento de acabamento têxtil antimicrobiano utilizando eco-MOF**

por

JOYCE GABRIELLA DIAS DA SILVA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos quatro dias de dezembro de dois mil e dezenove, às oito horas e trinta minutos, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Têxtil do curso de Engenharia Têxtil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

PROFESSOR(A) MURILO PEREIRA MOISÉS – ORIENTADORA

---

PROFESSOR (A) ANDRÉ LUIZ TESSARO – EXAMINADOR(A)

---

PROFESSOR(A) FABIO ALEXANDRE PEREIRA SCACCHETTI – EXAMINADOR(A)

\*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## RESUMO

SILVA, Joyce Gabriella Dias. 2018. **Desenvolvimento de Acabamento Têxtil Antimicrobiano Utilizando Eco-Mof**. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2019.

As fibras têxteis representam grande parte da quantidade de resíduos sólidos gerados, sendo principalmente proveniente do setor de corte na confecção. Grande parte dos resíduos têxteis são compostos por poliéster. Uma forma reutilização do poliéster descartado é por meio da reobtenção dos componentes básicos para sua formação, como o ácido tereftálico, a partir do processo de despolimerização. O ácido tereftálico pode ser utilizado como material de partida para síntese de estruturas metal-orgânicas, sendo essas, estruturas altamente cristalinas e porosas, podendo apresentar várias propriedades, como por exemplo a antibacteriana. Este trabalho teve como objetivo sintetizar a estrutura Metal-Orgânica (MOF) Cu(BDC) a partir do ácido tereftálico proveniente do processo de reciclagem do poliéster, e aplica-la em tecido de poliéster. Os materiais obtidos foram caracterizados por difratometria de raio-x, espectroscopia na região do infravermelho, espectro de RMN, análise microbiota e colorimétrica. Com isso pôde-se verificar a pureza do ácido tereftálico reciclado, a formação dos cristalitos de MOF, a presença dos mesmos no tecido de poliéster, e a comprovação do percentual de inibição de 99,8 no crescimento de microrganismos causada pela MOF. Os resultados obtidos possibilitaram verificar a presença de MOF no tecido mesmo após lavagem, indicando o potencial do acabamento têxtil proposto, utilizando usando tecnologia econômica e ambientalmente viável.

**Palavras-chave:** Reciclagem, poliéster, acabamento antimicrobiano, estrutura metal-orgânica.

## ABSTRACT

SILVA, Joyce Gabriella Dias. 2018. **Development of Antimicrobial Textile Finishing Using Eco-Mof**. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bachelor in Textile Engineering) – Federal University of Technology - Paraná. Apucarana, 2019.

Textile fibers represent a large part of the amount of solid waste generated, mainly coming from the cutting sector in the confection. Most of the textile waste is made of polyester. One way to reuse discarded polyester is by re-obtaining the basic components for its formation, such as terephthalic acid, from the depolymerization process. Terephthalic acid can be used as a starting material for the synthesis of metal-organic frameworks, which are highly crystalline and porous structures and may have various properties, such as antibacterial. This work aimed to synthesize the Metal-Organic (MOF) Cu (BDC) structure from terephthalic acid from the polyester recycling process and apply it to polyester fabric. The obtained materials were characterized by x-ray diffractometry, infrared spectroscopy, NMR spectrum, microbiota and colorimetric analysis. With this it was possible to verify the purity of the recycled terephthalic acid, the formation of the MOF crystallites, their presence in the polyester fabric, and the proof of the 99.8 inhibition percentage on the growth of microorganisms caused by the MOF. The obtained results made it possible to verify the presence of MOF in the fabric even after washing, indicating the potential of the proposed textile finishing using economical and environmentally viable technology.

**Keywords:** Recycling, polyester, antimicrobial finishing, metal-organic frameworks.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Síntese do poliéster.....	13
<b>Figura 2</b> - Formas de reciclagem de resíduos têxteis e os respectivos materiais derivados.....	16
<b>Figura 3</b> - Despolimerização via hidrólise alcalina.....	18
<b>Figura 4</b> - Despolimerização do poliéster via Etanolise. ....	18
<b>Figura 5</b> - Estrutura química do ácido tereftálico. ....	19
<b>Figura 6</b> - Estrutura da MOF. ....	20
<b>Figura 7</b> - Estrutura 3D da MOF Cu(BDC).....	23
<b>Figura 8</b> - Fluxo esquemático das etapas de desenvolvimento do acabamento antimicrobiano utilizando ECO-MOF. ....	25
<b>Figura 9</b> - Rendimento da reação de despolimerização. ....	31
<b>Figura 10</b> - Espectro RMN do ácido tereftálico. ....	32
<b>Figura 11</b> - Análise da espectroscopia de infravermelho do ácido tereftálico. ....	33
<b>Figura 12</b> - Análise da espectroscopia de infravermelho (FTIR) da MOF Cu(BDC).34	
<b>Figura 13</b> - Difração de raio-x da MOF Cu(BDC).....	35
<b>Figura 14</b> - Resultado colorístico das amostras sem MOF (a) com MOF antes (b) e após (c) lavagem.....	36
<b>Figura 15</b> - Gráfico da variação da refletância ao longo do espectro visível. ....	37
<b>Figura 16</b> - Avaliação da atividade antimicrobiana da MOF Cu(BDC). ....	38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estatística das fibras de poliéster toneladas/ano em 2017. ....	14
<b>Tabela 2</b> - Técnicas de síntese e MOFs associadas.....	22
<b>Tabela 3</b> - Resultados da despolimerização do Poliéster de acordo com a variação de temperatura e tempo de reação. ....	29
<b>Tabela 4</b> – Variação dos resultados colorísticos obtidos por espectrofotômetro após aplicação de MOF Cu(BDC) com tecidos antes e após lavagem.....	36

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>12</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
4.1 FIBRA DE POLIÉSTER .....	13
4.2 RESÍDUOS TÊXTEIS .....	14
4.3 RECICLAGEM DO POLIÉSTER .....	15
4.3.2 Reciclagem química .....	17
4.4 MOF APLICADA NA ÁREA TÊXTIL .....	20
4.4.1. MOF Cu(BDC) .....	22
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>23</b>
5.1 COLETA DOS RESÍDUOS DE POLIÉSTER .....	26
5.2 DESPOLIMERIZAÇÃO DO POLIÉSTER .....	26
5.3 SÍNTESE Cu(BDC) .....	26
5.5 APLICAÇÃO DA MOF NO POLIÉSTER .....	27
5.6.2 Espectroscopia de infravermelho (FTIR) .....	27
5.6.3 Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) .....	28
5.6.4 Análise antimicrobiana .....	28
5.6.5 Avaliação colorimétrica .....	28
<b>6 RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
6.1 ÁCIDO TEREFTÁLICO .....	29
6.1.1 Despolimerização .....	29
6.1.2 Espectro de RMN .....	31
6.1.3 Espectro de infravermelho .....	32
6.2 MOF CU(BDC) .....	33
6.2.1 Espectroscopia de infravermelho .....	34
6.2.2 Análise de difratometria de raios-x .....	35
6.3 CARACTERIZAÇÃO DO TECIDO .....	36
6.3.1 Avaliação colorimétrica .....	36
6.3.2 Análise antimicrobiana .....	38



<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O termo reciclagem surgiu nos anos de 1970 quando começaram as primeiras preocupações ambientais, e o desenvolvimento de conceitos sociais sobre a importância estratégica do reaproveitamento dos resíduos (PIVA e WIEBECK, 2004). A partir de então, inúmeras formas de reciclagem foram desenvolvidas com a finalidade de diminuir a quantidade de resíduo acumulada (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

As fibras têxteis contribuem de forma significativa para o acúmulo de resíduos sólidos. Em 2017 foram contabilizados entre vestuário, linha lar, e artigos técnicos, cerca de 160 mil toneladas apenas de resíduos de poliéster (ABRAFAS, 2018), os quais são frequentemente destinados a aterros causando perdas ambientais e econômicas.

Uma forma para o reaproveitamento de tecidos compostos por poliéster é a degradação química, a qual pode ser dividida em metanólise, glicólise, hidrólise, aminólise, entre outros processos (PASZUN e SPYCHAJ, 1997). A despolimerização do poliéster é uma forma de degradação química que resulta em um encaminhamento de um regime sustentável e rentável para a indústria. Quando aplicadas as metodologias adequadas pode resultar em alto rendimento de produto, e pouco desperdício (SILVA, 2012).

Os produtos gerados a partir do processo de despolimerização do poliéster são o tereftalato dissódico e o etilenoglicol. O ácido tereftálico pode ser obtido por meio da inserção do tereftalato em solução ácida, e pode ser utilizado como material de partida para a síntese de estruturas metal-orgânicas (MOF).

As MOFs são estruturas geometricamente definidas e altamente cristalinas (ROSWELL e YAGHI, 2014), constituídas por centros de metais e ligantes orgânicos (WRIEDT *et al.*, 2012 e WANG *et al.*, 2012). Novas propriedades são agregadas com a aplicação da MOF em fibras têxteis, destacando a antimicrobiana (WANG *et al.*, 2015). Dessa forma o trabalho busca formas de sintetizar a MOF Cu(BDC) com utilização de produtos provenientes da reciclagem do poliéster, e ainda desenvolver novos acabamentos têxteis.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver técnica de acabamento têxtil em poliéster com propriedades antibacteriana, utilizando usando tecnologia econômica e ambientalmente viável.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar resíduos de poliéster gerados em uma empresa de confecção localizada na cidade de Apucarana-PR;
- Avaliar o potencial tecnológico, e o efeito da temperatura e do tempo no processo de etanólise, para a despolimerização de resíduos têxteis de poliéster;
- Sintetizar a MOF Cu(BDC) usando ácido tereftálico em solução água/etanol (1/1), e caracteriza-las utilizando difração de raios x, espectroscopia de infravermelho e RMN;
- Aplicar as MOFs em poliéster e avaliar o efeito antimicrobiano em tecidos de poliéster;
- Realizar análise colorimétrica do tecido com MOF;

### 3 JUSTIFICATIVA

Os resíduos gerados na indústria têxtil são fibras na forma de fios, tecidos, malhas, dentre outros (LANGE *et al.*, 2006). São frequentemente descartados de forma nociva ao meio ambiente em decorrência da falta de atratividade dos mesmos, e alto custo para deposição em locais apropriados. Dessa forma os resíduos causam grandes prejuízos industriais à medida que poderiam ser reutilizados como novas fontes de matéria prima (TONANI, 2011).

A reciclagem é um processo que visa favorecer questões econômicas, industriais e ambientais, e como principal vantagem pode-se citar a recuperação de matérias primas, sem que haja a necessidade da inserção de suprimentos adicionais derivados do petróleo (BAIRD, 2011). Dessa forma a reciclagem do poliéster pode acontecer a partir das reações de despolimerização, e contribuir para a indústria química têxtil na obtenção de produtos de partida para o desenvolvimento de técnicas inovadoras de acabamento têxtil.

O poliéster despolimerizado resulta na separação do tereftalato dissódico e etilenoglicol. O ácido tereftálico pode ser obtido a partir da inserção do tereftalato em solução ácida, e pode ser utilizado como produto base para a síntese de MOFs, sendo essas estruturas capazes de proporcionar propriedade antimicrobianas nas fibras. Essa propriedade é de muita relevância quando incorporadas em têxteis, uma vez que a pele humana cria condições ideais para a fixação e desenvolvimento de bactérias, como a produção de suor, o qual cria um ambiente quente e húmido ideal para a proliferação de microrganismos (GAO e CRANSTON, 2008).

Visto que existe uma grande quantidade de resíduos têxteis, o trabalho pretende buscar uma forma de reduzir o desperdício por meio da reciclagem química a partir do processo de despolimerização do poliéster. Além do mais busca-se com o desenvolvimento deste trabalho estimular a inserção de produtos secundários na produção de MOFs, visando a minimização de problemas industriais e ambientais.

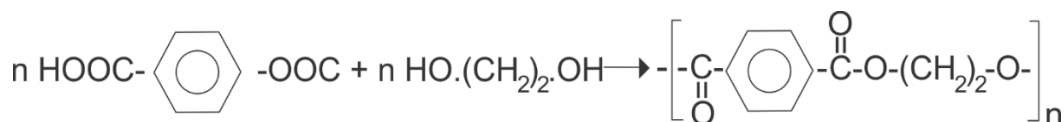
## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 FIBRA DE POLIÉSTER

Fibras têxteis são unidades de matéria, natural ou sintética, responsáveis pela formação básica de tecidos e outras estruturas têxteis (HOUCK, 2009). A fibra de poliéster é uma fibra têxtil obtida por meio de um processo de extrusão via fusão (SILVA, 2002). É composta por um polímero sintético de cadeia longa, constituído de 85% em massa de um éster e ácido carboxílico aromático (HOUCK, 2009), e é formada pela interação de dois ou mais polímeros quimicamente distintos a partir das etapas de pré-polimerização e policondensação (ASSIS, 2012).

Os polímeros sintéticos apresentam substâncias orgânicas de baixa massa molecular, as quais são responsáveis pela formação dos monômeros. Posteriormente por meio de reações de polimerização, reagem formando grandes moléculas de cadeias lineares (LAVADO, 2013). Dessa forma, a produção do poliéster pode ser definida como a reação de condensação de um ácido dicarboxílico com um glicol, como apresentado na Figura 1 (SALEM, 2010).

**Figura 1** – Síntese do poliéster.



Fonte: Adaptado de Salem (2010).

As propriedades atribuídas a fibra de poliéster como grau de cristalinidade, sorção de água, resistência à tração não dependem apenas da estrutura aromática específica, mas também da morfologia da fibra (BURKINSHAW, 2016). As propriedades da fibra de poliéster podem ser manipuladas por meio do controle das condições de processamento, antes ou após o processo de fiação. Além disso o polímero formador da fibra pode ser alterado por copolimerização ou pela inclusão de novos grupos funcionais, como por exemplo os acabamentos em tecidos, onde a modificação pode acontecer via exaustão ou pulverização (FAHEEM, 2008).

## 4.2 RESÍDUOS TÊXTEIS

A demanda global por produtos têxteis aumenta continuamente (THE FIBER YEAR CONSULTING, 2015 e OERLIKON, 2010), uma tendência que provavelmente continuará devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico. Enquanto isso, a indústria têxtil enfrenta enormes desafios ambientais e de recursos, decorrentes da alta demanda por fibras químicas, onde 63% das fibras têxteis processadas são derivados de produtos petroquímicos (LENZING, 2017).

Segundo Kuasne (2008) a indústria têxtil é responsável por gerar resíduos de fibras de diversas variedades, provenientes principalmente do setor de corte na confecção. Em 2010, foram consumidas 80 milhões de toneladas de fibras, sendo 62% de fibras químicas e 38% de fibras naturais, o que gerou uma alta quantidade de resíduos (ABIT, 2013).

Martins (2012), afirma que em 2011 a indústria brasileira teve aproximadamente 5 bilhões de reais gastos em relação a custos de matéria-prima desperdiçada. Quando os rejeitos não são encaminhados para aterro os custos com o descarte são evitados, e ainda o material pode ser reaproveitado em novos processos industriais (HAWLEY, 2006; WELLE, 2011; CHEN, 2010).

Em 2015 o Brasil foi inserido entre os cinco países mais produtores de têxtil do mundo, e emergido como um dos principais responsáveis por gerar resíduos nocivos ao ambiente (MENEGUCCI *et al.*, 2015). E em 2017 o consumo de fibras de poliéster foi de aproximadamente 160 mil toneladas no Brasil, garantido assim as fontes de geradoras de resíduos de fibras sintéticas, como demonstrado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Estatística das fibras de poliéster toneladas/ano em 2017.

<b>Poliéster</b>	<b>Capacidade Instalada</b>	<b>Produção</b>	<b>Vendas</b>	<b>Exportação</b>	<b>Total de vendas</b>
Filamento Têxtil	73.500	50.300	50.300	1.624	51.924
Filamento Industrial	17.400	7.330	7.200	556	7.756
Fibra	176.400	89.514	95.942	3.721	99.663

Fonte: Adaptado de Abrafas (2018).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) é possível estimar que pelo menos 10% de toda a fibra processado torna-se resíduo. No Brasil apenas 40% dos resíduos são encaminhados para empresas recicladoras, o que pode ser atribuído a desorganização na coleta de resíduos sólidos têxteis (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2018 e AMARAL *et al.*, 2014). Dessa forma quando há demanda pelo uso de resíduos têxteis as unidades produtivas muitas vezes preferem importar de outros países, pois torna-se mais fácil o manuseio (AMARAL *et al.*, 2014).

Alguns países comercializam os resíduos têxteis com a finalidade de tentar reduzir o problema local, e abasatecer industrias recicladores no mundo, como a China por exemplo, onde nos últimos anos a produção de resíduos de poliéster foi superior a 171 mil toneladas/ano (NZIHOU, 2010). Mesmo com uma porcentagem de resíduos sendo reciclados, mundialmente a taxa de reciclagem ainda é baixa, no entanto há um grande potencial para a mudança do cenário brasileiro. A nível nacional pode-se considerar que as taxas de reciclagem são elevadas para um país em desenvolvimento (ABIPET, 2016).

Ao analisar as questões envolvidas com o reuso de resíduos, de forma geral pode-se verificar que a reciclagem gera uma série de vantagens sociais e econômicas. A reinserção de um produto em sua cadeia produtiva é uma delas, a medida que a reciclagem fornece produtos equivalentes do material primário ou secundário, (GEYER *et al.*, 2015 e HUYSMAN *et al.*, 2015). Ainda, a reciclagem segundo muitos economistas pode proporcionar melhores condições ambientais por maximizar a vida útil do material, e aumento da margem de lucro empresarial.

#### 4.3 RECICLAGEM DO POLIÉSTER

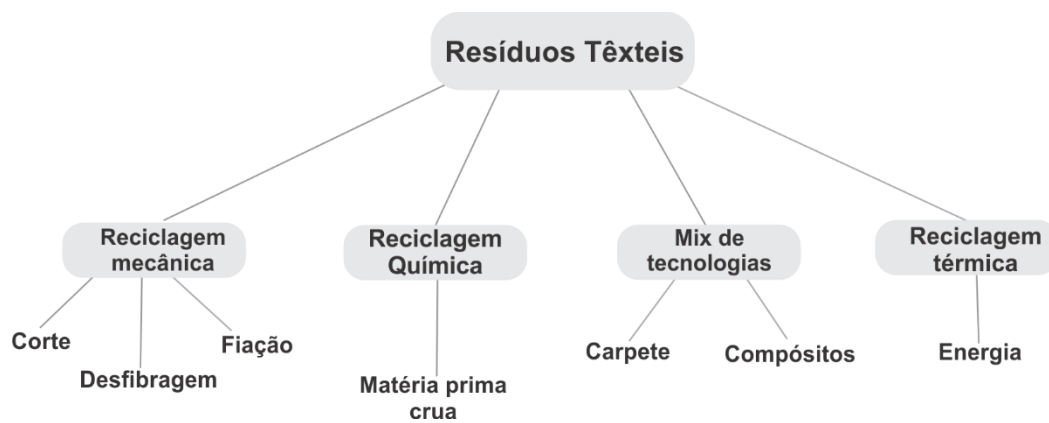
A reciclagem é uma atividade de grande valia, visto que o resultado final da coleta seletiva tem como resultado o fornecimento de matéria-prima, e reflexos nas questões econômicas da indústria.

Segundo Forlim e Farias (2009, p.1)

A rentabilidade do mercado de reciclagem de embalagens plásticas no Brasil, como em outros países desenvolvidos, mostra aspectos atraentes para iniciativas empresariais do setor, com reflexos socioeconômicos diretos relacionados com a melhoria da qualidade de vida da população, geração de renda, economia de recursos naturais .

O processo de reciclagem do poliéster pode ser dividido em quatro categorias, sendo elas mecânica (reciclagem primária e secundária), química (reciclagem terciária) (IKENAGA, 2016), e térmicas (reciclagem quaternária) (GROUP CTT, 2014). De acordo com a Figura 2 pode-se identificar os tipos de reciclagem e os materiais derivados de cada uma delas.

**Figura 2** – Formas de reciclagem de resíduos têxteis e os respectivos materiais derivados.



Fonte: Adaptado de GROUPE CTT e ITS, 2014.

Os resíduos têxteis de poliéster em muitos casos não apresentam a fibra pura, pois cada vez mais a introdução de fibras mistas no mercado torna-se perceptível, como por exemplo pode-se citar as misturas de poliéster e algodão. Esse procedimento de misturar fibras tem como objetivo associar as características mais vantajosas de cada uma delas (SALEM, 2010). Nesse caso medidas podem ser tomadas para que os processos de reaproveitamento dos resíduos de poliéster não sejam prejudicados, e para que os rejeitos ainda possam ser reaproveitados de forma total.

Solvetes orgânicos podem ser utilizados para separação das fibras de algodão e poliéster, quando o tecido é composto por ambas as fibras. A separação pode ser realizada via reciclagem química, a uma taxa de separação de 75% à 80% (ZHENG, 2018). Segundo Bao e Li (2012) e Zheng *et al.* (2014) o residual separado do poliéster



pode ser utilizado como precursor para preparação de carvão ativado, evitando assim o surgimento de novos tipos de resíduos ambiente.

#### 4.3.1 Reciclagem mecânica

A reciclagem mecânica é um processo físico que não altera a natureza da matéria dos resíduos, e de seus contaminantes, sendo principalmente utilizada como forma de pré-tratamento para a reciclagem química. Nesse processo o resíduo é transformado em grânulos a fim de possibilitar o seu reaproveitamento na produção de outros produtos (BARBOSA, 2014).

Para que a reciclagem seja viável deve-se fazer inicialmente a identificação e a separação dos resíduos a serem utilizados. Essas medidas contribuem para que haja a limitação da presença de macro contaminantes, como vidro, papel, metal ou outros polímeros (SAMMARCO, 1999). Os processos seguintes são referentes a moagem, lavagem, secagem, aglutinação ou extrusão, no entanto alguns processos podem ser excluídos de acordo com o tipo de resíduo a ser trabalhado (FÁVARO, 2011).

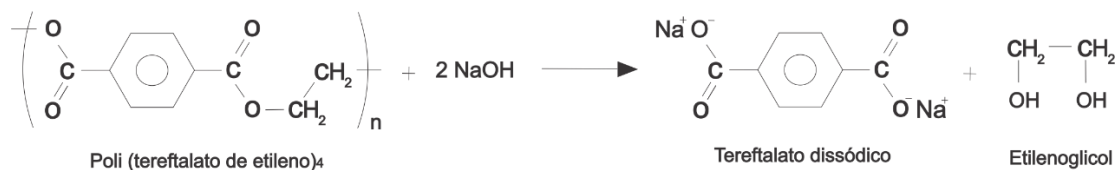
#### 4.3.2 Reciclagem química

O objetivo da reciclagem química é a recuperação dos componentes químicos individuais para posteriormente serem utilizados como produtos químicos em um novo processo (ROSSINI, 2005). O processo de despolimerização pode ser considerado uma forma de reciclagem química, ou seja, trata-se de uma maneira de reutilizar os produtos resultantes de um ciclo, como por exemplo o do poliéster (PASZUN e SPYCHAJ, 1997). A grande vantagem da reciclagem química é que o produto obtido é de elevada qualidade, sendo de iguais características de um produto virgem (CASTRO, 2004).

A decomposição química pode ser considerada uma técnica de reciclagem, e fundamenta-se na reversibilidade da reação de polimerização (MANCINI e ZANI, 2002). O processo de despolimerização pode ser realizado por processos químicos como hidrólise, glicólise, etanólise e aminólise, podendo ser catalisada por ácidos, bases, ou catalisadores neutros (SOUZA *et al.*, 2008).

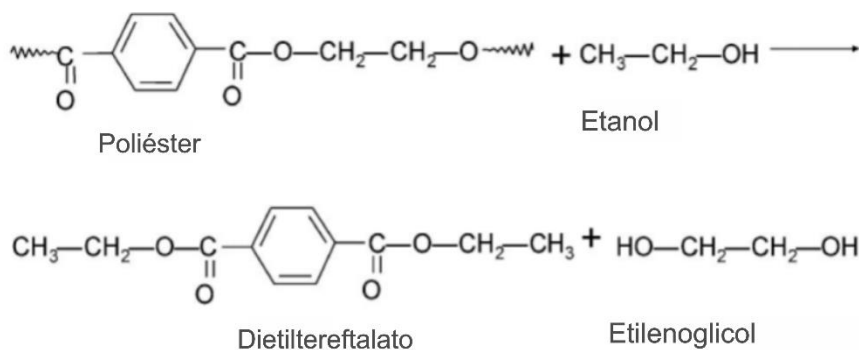
Dentre os processos citados pode-se destacar a hidrólise alcalina e a etanólise (solvólise), como apresenta as Figuras 3 e 4, respectivamente. Ambas as técnicas podem ser definidas como processos de despolimerização do poliéster, resultando em ácido tereftálico e etilenoglicol ao final do processo (PASZUN e SPYCHAJ ,1997; ROSMANINHO, 2005; CASTRO 2006).

**Figura 3 –** Despolimerização via hidrólise alcalina.



Fonte: Adaptado de Fonseca *et al.* (2014).

**Figura 4-** Despolimerização do poliéster via Etanólise.



Fonte: Adaptado de Castro *et al.* (2006).

O mecanismo de hidrólise básica consiste no ataque nucleofílico da hidroxila fornecida pela base, à carbonila seguido de reestruturação da ligação C=O e consequentemente a cisão da ligação CO do éster. A reação libera o alcóóxido, que por sua vez remove um hidrogênio da água ou do próprio ácido liberado, formando um álcool e um carboxilato (ROSMANINHO, 2005 e ASSIS, 2004).

Poucos estudos relatam o uso de etanol para processos de despolimerização do poliéster, no entanto trata-se de uma alternativa promissora para a indústria brasileira já que o etanol é encontrado de forma abundante no Brasil. Um forma de realizar a despolimerização é via etanólise, possibilitando a obtenção de produtos como o dietilertereftalato, e o etilenoglicol (CASTRO *et al.*, 2006)

O ácido tereftálico pode ser recuperado a partir da inserção do tereftalato em solução ácida. Como o tereftalato é solúvel em meio alcalino faz-se com que haja a formação de um precipitado, e dessa forma pode ser recuperado via filtração (BENTES, 2008).

Por sua vez, o ácido tereftálico é um monômero importante para a produção do poliéster. Esse composto orgânico, trata-se de sólidos cristalinos com ponto de sublimação acima de 300 °C, e massa molecular de 166 g/mol (SILVA, 2012). Além do mais, trata-se de um ácido fraco e insolúvel em água, clorofórmio e pouco solúvel em álcool e éteres (NIOSH, 2011). O anel de benzeno com grupos carboxila nos carbonos demonstrados na Figura 6 ilustra a estrutura química do composto.

**Figura 5-** Estrutura química do ácido tereftálico.



Fonte: Adaptado de Fonseca *et al.* (2014).

Como resultado geral do processo de despolimerização, pode-se citar as consequências do encaminhamento de um regime sustentável e rentável para a indústria. Quando aplicadas as metodologias adequadas, a despolimerização pode resultar em alto rendimento de produto, e pouco desperdício (SILVA, 2012). Além de contribuir para obtenção de monômeros de poliéster utilizando matéria-prima abundante e relativamente barata (MANCINI e ZANI, 2002), como os resíduos têxteis.

Algumas metodologias encontradas na literatura afirmam que o processo de despolimerização pode se tornar dispendioso. Em determinadas circunstâncias pode haver dificuldade da penetração de reagentes químicos no interior da matriz do polímero. Esse fator pode comprometer o rendimento da reação de despolimerização (DI SOUZA *et al.*, 2008), no entanto o poli(tereftalato de etileno) geralmente apresenta sucesso comercial em relação a reciclagem química (MANO *et al.*, 2010).

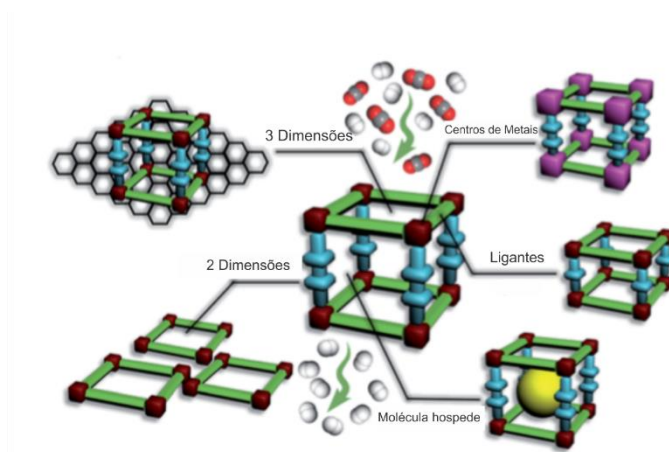
O ácido tereftálico pode ser utilizado como produto base para a geração de diversos de compostos. Alguns trabalhos já foram desenvolvidos utilizando ácido

tereftálico como ligante orgânico em MOFs. Pode se citar como exemplos a MOF-5 (EDDAUDI *et al.*, 2002), Cr-MIL-101 (JHUNG *et al.*, 2007), MIL-53 (HORCAJADA *et al.*, 2006), Al-MIL-53-NH (KIM *et al.*, 2012), Cu(BDC) (PUTHIARAJ *et al.*, 2014). Dessa forma pode-se identificar um alto potencial no uso do ácido tereftálico reciclado, uma vez que se espera que o produto recuperado tenha características semelhantes ao produto comercial.

#### 4.4 MOF APLICADA NA ÁREA TÊXTIL

A MOF descreve uma classe de materiais ligantes orgânicos, polifuncionais, que podem formar ligações de coordenação com vários átomos de metal para formação de estruturas poliméricas. A estrutura pode possibilitar uma, duas ou três dimensões (CARSON *et al.*, 2009) como ilustrado na Figura 7. Estes compostos são frequentemente cristalinos, altamente porosos e possuem resistência ao colapso estrutural após a evacuação, quando há adsorbato (FEREY *et al.*, 2005).

**Figura 6-** Estrutura da MOF.



Fonte: Adaptado de Kang *et al.* (2017).

As combinações entre os centros de metal e os ligantes podem acontecer de diversas formas em uma estrutura metal orgânica, o que conseqüentemente, gera muitas alternativas para a formação da área superficial da MOF. Segundo Yanghi (1999) os trabalhos pioneiros de síntese de MOFs surgiram no final da década de

1990. Os Métodos convencionais de síntese de MOF normalmente resultam em pós cristalinos com tamanhos de cristalitos variando de nanômetros para centenas de microns (STOCK e BISWAS, 2013).

As MOFs, receberam muita atenção devido à sua vasta gama de aplicações e propriedade, e ainda por apresentar síntese com materiais de partida que possuem baixo custo, e rotas sintéticas simples de obtenção (KITAGAWA *et al.*, 2004; FURUKAWA, 2013). Além disso permitem alcançar diferentes áreas superficiais com tamanhos de poros ajustáveis (EMAM *et al.*, 2018).

No campo têxtil, diferentes pesquisas com MOFs tem favorecido diferentes segmentos, como a remoção de pesticidas (ABDELHAMEED *et al.*, 2016), purificação de combustível (ABDELHAMEED *et al.*, 2016), tecidos inseticidas (KAMEL *et al.*, 2017 e EMAM *et al.*, 2017), tecidos de proteção ultra violeta (UV) (EMAM e ABDELHAMEED, 2017; ABBASI *et al.*, 2012), e antimicrobianos têxteis (WANG *et al.*, 2015).

Devido a sua alta aplicabilidade em têxteis, muitas pesquisas vem sendo desenvolvidas com relação a catálise, adsorção, separação, detecção química, liberação de fármacos, sensor de luminescência e controle biológico (ABDELHAMEED *et al.*, 2015). Sendo assim, as aplicações de MOFs em têxteis tem como objetivo modificar as características do desempenho das fibras. Dessa forma as propriedades funcionais do têxteis podem ser modificadas a partir da alteração da composição da estrutura química da fibra, ou devido a tratamentos químicos superficiais (TILLINGHAST e TOWNLEY, 1987).

A presença de grupos funcionais acessíveis das fibras têxteis estão relacionados com a constituição química de cada uma delas, dependendo do nível de concentração, distribuição e grau de ionização (SALEM, 2010). A partir dessas diferenças entre grupos funcionais, existem uma distinção com relação ao nível de aderência da MOF no têxtil, como por exemplo, tecidos sintéticos mostram má adesão com os materiais em comparação com os têxteis naturais. (REHAN *et al.*, 2013 e MEHMOOD *et al.*, 2014). Porém, ainda pode-se aumentar o grau de aderência a partir de uma pré-modificação de superfície ou fazer com que a MOF seja formada ou inserida dentro das matrizes poliméricas (SALEH *et al.*, 2016 e EMAM *et al.*, 2017).

Para algumas aplicações baseadas em modificações de superfície por MOFs, numerosos técnicas de síntese de foram desenvolvidos (BIEMMI *et al.*, 2007;

MAKIURA *et al.*, 2010). A Tabela 2 exemplifica algumas técnicas de síntese de MOFs, além de exemplos de metais e ligantes associadas a cada modelo.

**Tabela 2** - Técnicas de síntese e MOFs associadas.

<b>Técnica</b>	<b>Metal</b>	<b>Ligante</b>	<b>MOF</b>	<b>Referência</b>
Solvotérmica	- Nitrato de cobre (II);	- Ácido tereftálico;	- Cu(BDC);	- Puthiaraj <i>et al.</i> (2014);
	- Nitrato de cobre;	- Ácido hidroxitereftálico;	- Cu-MOF-74;	-Dang <i>et al.</i> (2016);
Energia por Microondas	- Nitrato de Zinco;	- Ácido tereftálico;	- MOF-5;	- Choi <i>et al.</i> (2008);
	- Nitrato de cobre (II);	- Ácido trimésico;	-HKUST-1;	- Seo <i>et al.</i> (2009);
Sonoquímica	- Nitrato de Zinco;	- Ácido tereftálico;	- MOF-5;	- Park <i>et al.</i> , (2009);
	- Nitrato de Zinco;	- Ácido 4,4-bifenil carboxílico;	- PCN-6, CN-6';	- Kim <i>et al.</i> (2011);
Eléctroquímica	- Nitrato de alumínio;	- Ácido tereftálico;	-Al-MIL-53;	- Joarist <i>et al.</i> (2012);
	- Nitrato de alumínio;	- Ácido amino-tereftálico;	- Al-MIL-53-NH <sub>2</sub> ;	- Joarist <i>et al.</i> (2012);
Mecanoquímica	- Acetato de cobre;	-Ácido benzeno-tricarboxílico;	- HKUST-1;	- Pichon <i>et al.</i> (2008);
	- Óxido de Zinco;	- Imidazol;	- ZIF-4;	- Beldon <i>et al.</i> (2010);
Camada por camada	- Acetato de cobre (II);	- Ácido trimésico;	-HKUST-1;	- Shekhah (2010);
	- Acetato de níquel;	- Ácido 2,5-di-hidroxitereftálico;	- Ni-MOF-74;	- Joo <i>et al.</i> (2012);

Fonte: Autora (2019).

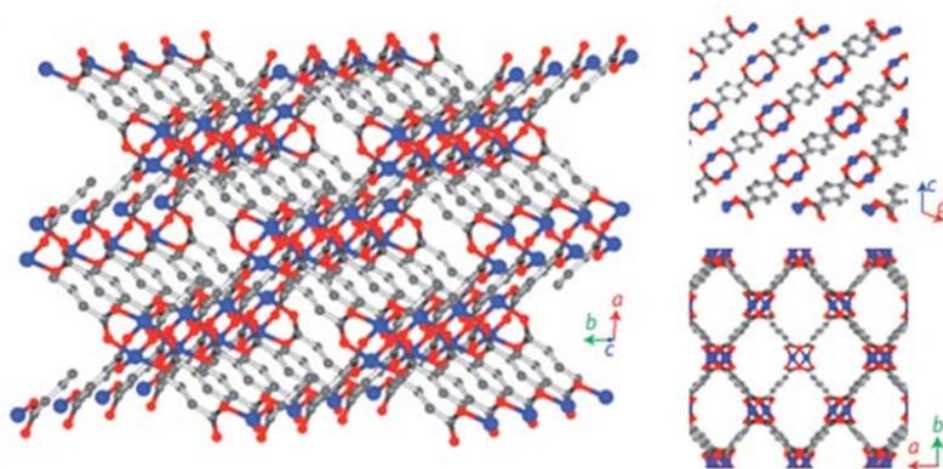
#### 4.4.1. MOF Cu(BDC)

Os metais de transição como prata, cobre, e zinco, possuem efeito inibitório ou mortal em microorganismos (YANG *et al.*, 2018). A MOF contendo em sua estrutura metais de transição possui uma área de superfície estruturada e altamente específica,

e pode ser classificada como material antibacteriano químico (GUO *et al.*, 2018 e ABASSI *et al.*, 2012).

A MOF Cu(BDC (BDC = benzeno-1,4-dicarboxilato = tereftalato) é formada a a partir de centros de metais de cobre (ROSTAMNIA *et al.*, 2016) e principalmente de ligantes orgânicos como os ácidos mono-, di-, tri- e tetracarboxílicos, como o ácido tereftálico (CZAJA *et al.*, 2009). A Figura 8 ilustra a rede metal orgânica formada pelo centros de metais e ligantes da MOF Cu(BDC).

**Figura 7 – Estrutura 3D da MOF Cu(BDC).**



Fonte: Adaptado de Kung *et al.* (2017).

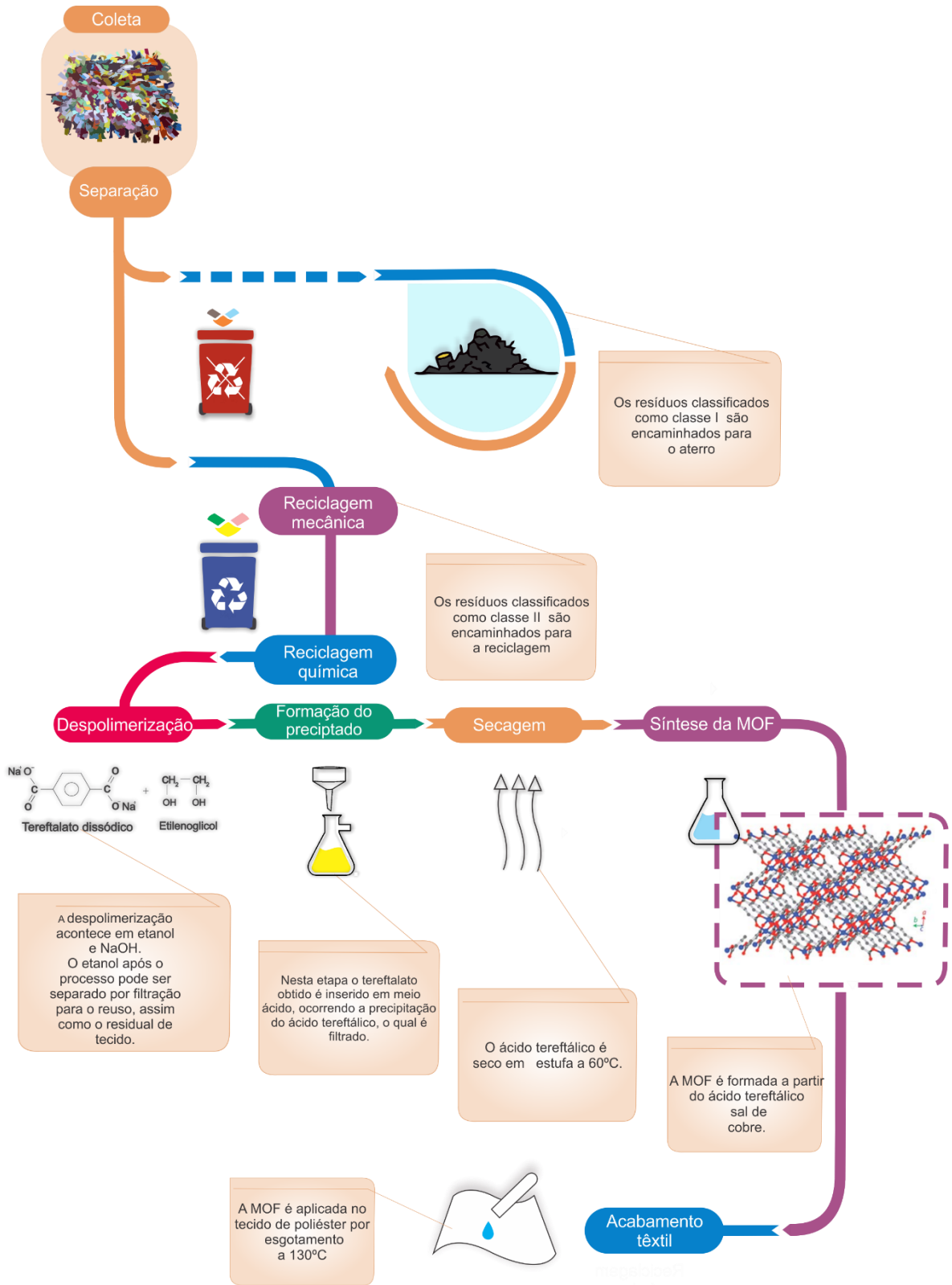
O método de síntese da MOF pode se apresentar por diversas formas, com alterações na temperatura, técnica de síntese, classe de solvente e tempo de reação. As temperaturas utilizadas nas sínteses são relativamente baixas por questões de estabilidade estrutural. Neste caso a síntese pode acontecer a temperatura ambiente ou abaixo de 200 °C em condições solvotérmicas (RAMOS, 2013). Os solventes podem ser polares ou apolares, interferindo diretamente no rendimento e no tempo da reação. Dessa forma os solventes polares próticos como a água, metanol e etanol, podem apresentar rendimentos baixos entre 8 e 42% para MOF Cu(BDC), além de tempo maiores de processo (PUTHIARAJ *et al.*, 2014).

## 5 METODOLOGIA

A visualização da metodologia de forma geral pode ser identificada na Figura 8, as etapas principais estão ilustrados em um fluxograma desde a coleta de resíduos até a formação da MOF e sua aplicação no tecido.



**Figura 8** – Fluxo esquemático das etapas de desenvolvimento do acabamento antimicrobiano utilizando ECO-MOF.



Fonte: Autora (2019).

## 5.1 COLETA DOS RESÍDUOS DE POLIÉSTER

A coleta dos resíduos de poliéster foi realizada em uma empresa na região de Apucarana-PR. O tecido de poliéster utilizado como matéria-prima trata-se de resíduos de classe II de poliéster, originários do setor de corte.

## 5.2 DESPOLIMERIZAÇÃO DO POLIÉSTER

Os resíduos de aproximadamente 20 mm<sup>2</sup> foram submersos em solução de etanol (Química Moderna, 95%) e hidróxido de sódio (1:25) (Alphatec) em um béquer, a partir de uma relação de massa de 5g/50mL (1:10). Em seguida o processo aconteceu em sistema fechado e banho maria com duração de 3 horas. A despolimerização foi realizada com variações de temperatura de 40 °C, 60 °C e 80 °C, e de tempos de 2, 3 e 5 horas.

Após a despolimerização de 3 horas, o tecido residual foi separado e, a mistura obtida filtrada para a separação do etanol e do tereftalato. Após, foi adicionado água no tereftalato para facilitar as etapas posteriores. Com auxílio de uma bureta foi gotejado ácido clorídrico (Biotec, 37%) sob a mistura de água e tereftalato para a precipitação do ácido tereftálico, o qual o foi filtrado e seco a 60 °C em estufa.

## 5.3 SÍNTESE Cu(BDC)

O método de síntese foi baseado no trabalho de Rahmani *et al.* (2017). Foram utilizados 0,263 g de nitrato de cobre e 0,181 g de ácido terftálico (TPA) reciclado, dissolvidos em 22 mL de dimetilformamida. Após a completa dissolução a solução foi condicionada em um reator de vidro, e mantida sob condições estáticas em estufa por 2 horas, a temperatura de 130 °C.

Foram realizadas três lavagens consecutivas com aproximadamente 5 mL de dimetilformamida em agitação em vórtex 800 rpm por 30 segundos. Por fim, o material sólido foi seco em estufa a 150 °C por 12 horas.

## 5.5 APLICAÇÃO DA MOF NO POLIÉSTER

O acabamento têxtil foi realizado em tecido de poliéster de ligação tela (1x1) por processo de esgotamento em máquina de canecas (Kimak, ST1W), utilizando concentração de 5% spm de Cu(BDC). O processo foi realizado a temperaturas de 130 °C, durante 30 min, com relação 1:15 (m:v). Após, a amostra foi seca em Rama (Mathis, LTE-B) a temperatura de 140 °C, durante 2 minutos. Em seguida a amostra passou por um processo de lavagem com detergente não iônico, a 45 °C por 15 minutos.

## 5.6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

### 5.6.1 Difractometria de raios-x (DRX)

A análise foi realizada a fim de determinar a cristalinidade da estrutura da MOF Cu(BDC). Para isso, foi utilizado o equipamento da marca Shimadzu, na região entre 4 e 80 (2theta). A análise foi realizada na Laboratório de Adsorção e Troca Iônica (LATI), situado na Universidade Estadual de Maringá.

### 5.6.2 Espectroscopia de infravermelho (FTIR)

A análise foi realizada para o estabelecimento de particularidades das partículas com relação as propriedades estruturais e presença de grupos funcionais. As amostras foram analisadas na faixa de 4.000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ . Foi utilizado o aparelho Nicollete Avatar, software OMNIC (Versão 6.2), na Universidade Politécnic da Cataluña (UPC).

### 5.6.3 Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

O espectro de RMN do ácido tereftálico reciclado na despolimerização do PET foi adquirido em um espectrômetro Varian modelo Mercury Plus BB 300 MHz, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O ângulo do pulso e tempo de relaxação foram fixados em 45° e 1,36 s, respectivamente. Foi utilizado dimetil sulfóxido deuterado (DMSO-D6) como solvente.

### 5.6.4 Análise antimicrobiana

Para avaliação da atividade antimicrobiana foi utilizado uma adaptação a norma ASTM E-2149-13<sup>a</sup>. O método trata-se de um Teste Padrão para Determinação da Atividade Antimicrobiana de Agentes Antimicrobianos Imobilizados sob Condições de Contato Dinâmico.

### 5.6.5 Avaliação colorimétrica

A análise foi realizada com o equipamento espectrofotômetro modelo Gretagmacbeth e software i7 da Universidade Politécnica da Catalunya. A leitura foi realizada na faixa de comprimento de onda 360 a 750 nm. Como amostra padrão foi utilizado um tecido de poliéster sem tingir, com gramatura de 40 g/m<sup>2</sup>.

Para determinação do percentual da força colorística foi utilizado com base os cálculos apresentados na teoria de Kubelka-Munk (KORTUM, 1964). A partir da *equação 1* foi possível identificar o parâmetro K/S, o qual envolve dados referentes as variações de refletância das amostras de poliéster sem MOF, e com MOF (antes e após lavagem) coletados no espectrofotômetro. O percentual de fixação pode ser calculado a partir dos coeficientes K/S, segundo a *equação 2*.

### **Equação 1**

$$\frac{k}{s} = \frac{(1 - R)^2}{2R} - \frac{(1 - R_0)}{2R_0}$$

## Equação 2

$$\text{Fixação (\%F)} = \left( \frac{\frac{K}{s_2}}{\frac{K}{s_1}} \right) * 100$$

- R: fração decimal de refletância do substrato tinto;
- R0: fração decimal de refletância do substrato não tinto;
- S: coeficiente de espalhamento;
- K: coeficiente de absorção;

## 6 RESULTADOS

### 6.1 ÁCIDO TEREFTÁLICO

#### 6.1.1 Despolimerização

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram os rendimentos obtidos a partir da despolimerização de resíduos têxteis de poliéster (PES).

**Tabela 3** - Resultados da despolimerização do Poliéster de acordo com a variação de temperatura e tempo de reação.

Amostra (5g)	Composição	Temperatura	Tempo	Ácido tereftálico (g)	Rendimento (%)	Residual de tecido (g)	Conversão (%)
1	100% PES	40 °C	2 horas	2,78	49,60	2,48	50,40
2	100% PES	40 °C	3 horas	2,42	48,40	0,90	82,00

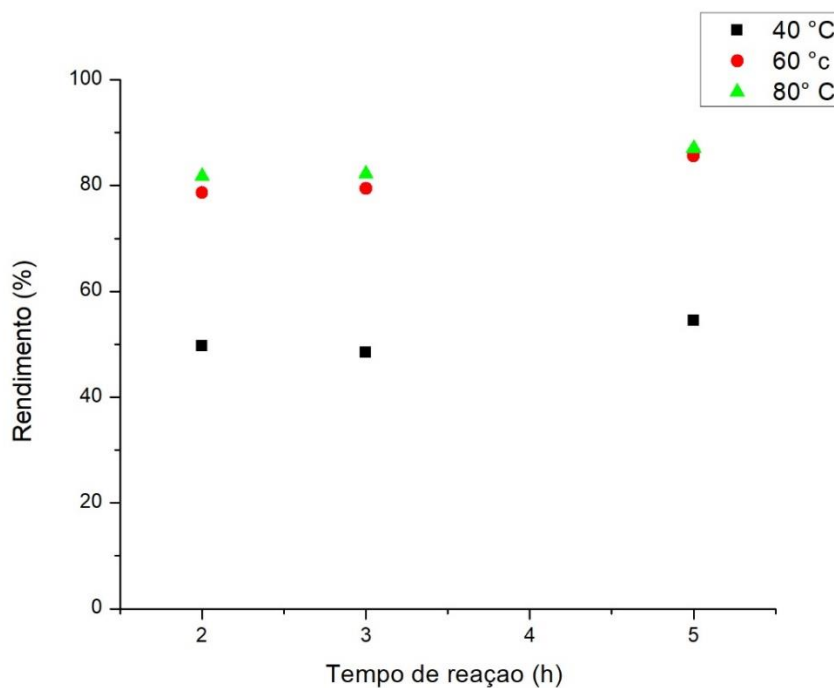
3	100% PES	40 °C	5 horas	2,73	54,60	0,20	96,00
7	100% PES	60 °C	2 horas	3,93	78,60	0,08	98,40
8	100% PES	60 °C	3 horas	3,97	79,40	0,07	98,60
9	100% PES	60 °C	5 horas	4,28	85,60	0,06	98,80
13	100% PES	80 °C	2 horas	4,08	81,60	0,09	98,20
14	100% PES	80 °C	3 horas	4,11	82,20	0,00	100,00
15	100% PES	80 °C	5 horas	4,35	87,00	0,00	100,00

Fonte: Autora (2019).

Os dados da despolimerização em diferentes temperaturas e tempos de reação indicaram que o processo ocorreu de forma mais efetiva em 60°C e 80°C, uma vez que o grau de conversão do poliéster se mostrou próximo ou igual a 1, independente do tempo de reação. O melhor rendimento de 87%, com 5 horas de reação a 80 °C. Existem relatos de alcance de rendimento de 100% com duração de processo de 6 horas, porém o rendimento máximo da despolimerização pode variar de acordo com a área superficial das amostras de poliéster (Di Souza. 2008). Os autores Mancini e Zanin (2002) realizaram o processo com poliéster de dimensão de 30 mm<sup>2</sup>, por 6 horas a 100 °C, e obtiveram uma média de rendimento de 90%.

Ao analisar a Figura 9 pode-se observar que os rendimentos referentes aos processos a 60 °C e 80 °C se demonstraram com pouca variação de rendimento quando comparados com os processos realizados a 40 °C. Com isso verifica-se que o processo se torna pouco vantajoso para temperaturas menores que 40 °C. Com isso concluiu-se que o processo o qual ocorreu por 2 horas a 60 °C mostrou-se com a melhor condições de processo, uma vez que foi alcançado um rendimento semelhante aos processos com maiores temperaturas e tempos.

**Figura 9** - Rendimento da reação de despolimerização.



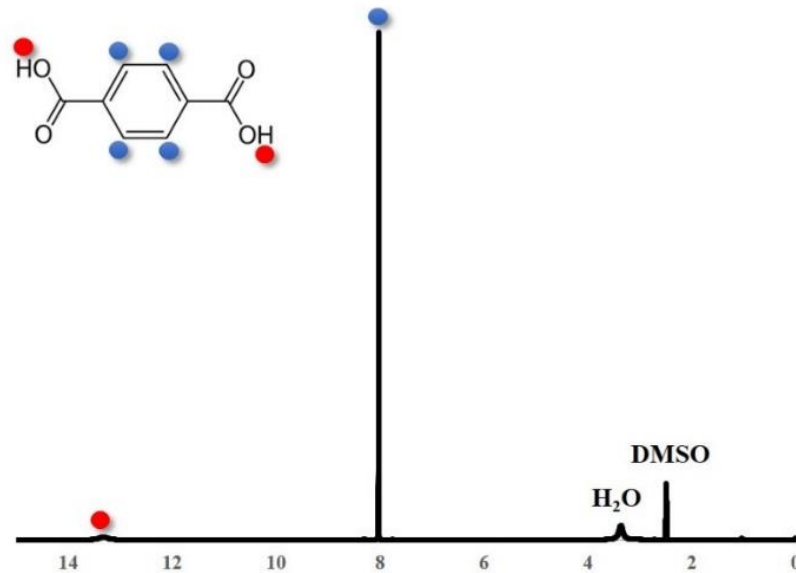
Fonte: Autora (2019).

O residual de tecido gerado pelos processos que não há a conversão total do poliéster pode ser reutilizando para novas reações de despolimerização. Dessa forma é possível que o rendimento da reação aumente sem que sejam alterados os parâmetros de processo, uma vez que os resíduos se encontraram em proporções menores. Além do mais torna-se possível o reaproveitamento total dos resíduos em caso de temperaturas mais amenas e tempos de reação mais curto.

### 6.1.2 Espectro de RMN

A pureza do ácido tereftálico pode ser comprovada na Figura 10, onde está representado o espectro de RMN em dimetilsulfóxido (DMSO).

**Figura 10-** Espectro RMN do ácido tereftálico.



Fonte: Autora (2019).

No espectro foi possível identificar dois sinais referentes a presença de ácido tereftálico na amostra assim como também identificaram os autores Fonseca *et al.* (2014). Esses sinais podem ser observados em 8 e 13 ppm, relacionados aos hidrogênios, respectivamente ligados ao anel aromático, e ao ácido carboxílico. Também pode-se verificar um pequeno deslocamento entre 4 e 2 ppm, indicando a presença de água na amostra.

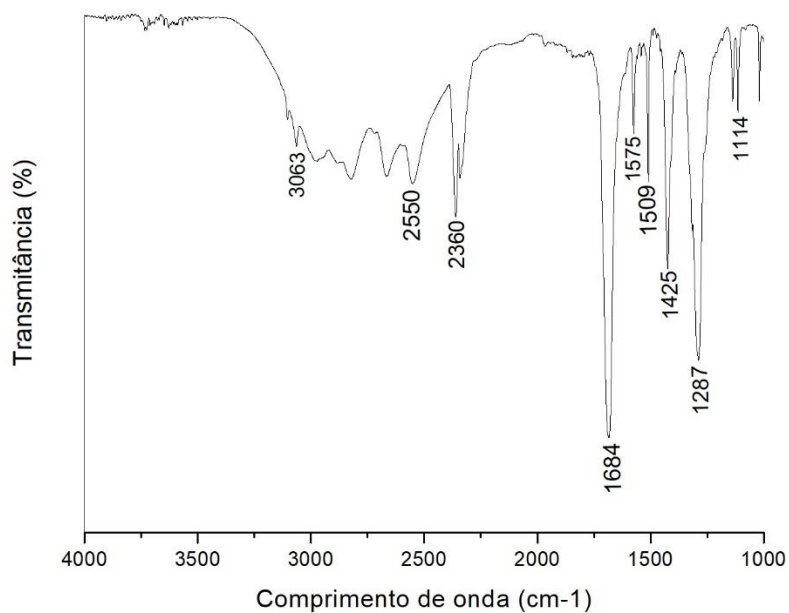
### 6.1.3 Espectro de infravermelho

A Figura 11 apresenta os espectros na região do infravermelho do ácido tereftálico. Pode-se observar uma banda na região de  $1680\text{ cm}^{-1}$  atribuída ao final – OH ligado à carbonila (MANCINI e ZANIN, 2002). Assim como as bandas relacionados ao estiramento C=C no anel aromático e à deformação da vibração do anel 1,4 – dissustituído, na região de  $15745\text{ cm}^{-1}$ . Verifica-se bandas associadas ao



estiramento C-OH acoplado com a deformação O-H, em  $1425\text{ cm}^{-1}$  (SOUZA *et al.* 2008). Ainda nota-se uma ampla banda  $3100\text{ cm}^{-1}$  e  $2300\text{ cm}^{-1}$ , atribuída ao estiramento da hidroxila ligada à carbonila do ácido e provavelmente da água residual (FONSECA *et al.*, 2014).

**Figura 11-** Análise da espectroscopia de infravermelho do ácido tereftálico.



Fonte: Autora (2019).

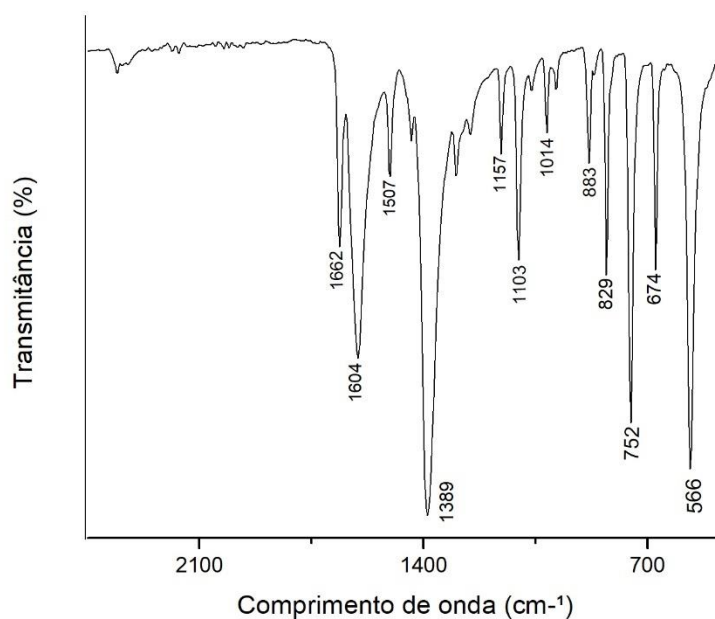
Estas considerações indicam que os resultados obtidos confirmam de forma positiva a similaridade das partículas de ácido tereftálico primárias e originárias do processo de reciclagem, uma vez que os mesmos sinais podem ser encontrados na espectroscopia do produto comercial (SILVERSTEIN, 1962 e BARTELS 1978).

## 6.2 MOF CU(BDC)

## 6.2.1 Espectroscopia de infravermelho

O espectro é mostrado na Figura 12. A verificação da determinação de características estruturais via espectroscopia de infravermelho

**Figura 12** – Análise da espectroscopia de infravermelho (FTIR) da MOF Cu(BDC).



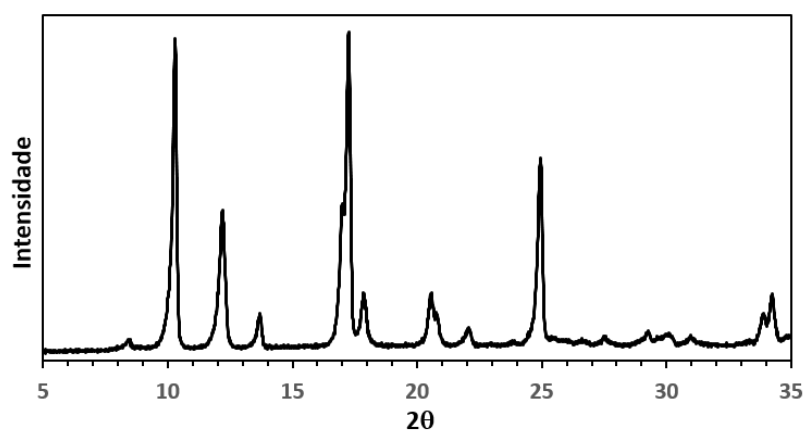
Fonte: Autora (2019).

O espectro resultou em bandas de absorção em  $1389\text{ cm}^{-1}$ , de forma semelhante foi observado pelos autores Rostaminia *et al.* (2016) em  $1.394\text{ cm}^{-1}$  pertencente a vibração de alongamento antissimétricas e simétricas dos ânions carboxilato do  $\text{COO}^-$  presentes da MOF. Pode se observar também bandas de absorção na região de  $1.507\text{ cm}^{-1}$  é devido a vibrações C=C (ROSTAMINIA *et al.*, 2016). As bandas de  $568\text{ cm}^{-1}$  e  $756\text{ cm}^{-1}$ , indicam que os substitutos estão no anel benzeno (MANSOOR e PAZOKI, 2014) e pode ser atribuída a vibração fenil (YANG, 2018). Em  $1662\text{ cm}^{-1}$  a absorção obtida em refere-se respectivamente as vibrações C=C e C=O, assim como também verificou o autor Yang (2018).

## 6.2.2 Análise de difratometria de raios-x

No difratograma de raios-x apresentado na figura 13 pode-se observar os picos característicos dos planos cristalinos apresentados pela estrutura da MOF Cu(BDC).

**Figura 13** - Difração de raio-x da MOF Cu(BDC).



Fonte: Autora (2019).

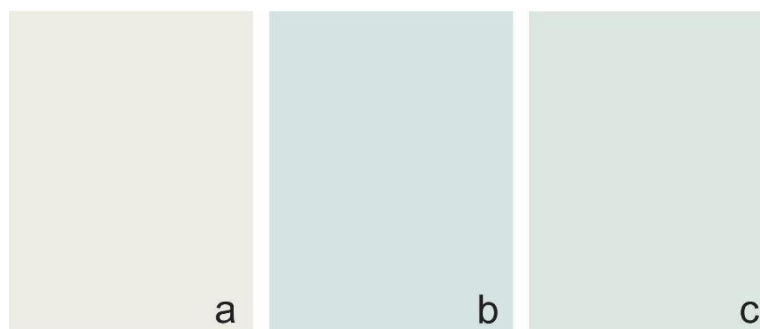
Ao analisar o difratograma pode-se observar a presença dos da MOF Cu(BDC) em 2 tetha aproximadamente 10,5°, 13°, 17° e 20,5°, representando respectivamente os planos (110), (001), (111) e (220) de estruturas cristalinas como relata os autores Shete *et al.* (2018). Os picos nas varreduras de difração de pó foram comparados as difrações evidenciadas pelos autores Carson *et al.* (2019), Dang *et al.* (2015) e Yang *et al.* (2018). Esses padrões de difração mostram uma correspondência entre a difração de pó prevista padrão e o padrão experimental, uma vez que se pode observar a cristalinidade das partículas. Com isso acredita-se que estejam sendo formados empilhamento de estruturas lamelares que são covalentemente ligadas no plano (001) para a formação de canais que forneça maior área superficial.

## 6.3 CARACTERIZAÇÃO DO TECIDO

### 6.3.1 Avaliação colorimétrica

Para determinação da avaliação colorimétrica, foram coletados dados referente a variação da refletância ao longo do espectro visível da amostra padrão (sem MOF), e das amostras com a MOF Cu(BDC) antes e após lavagem. Os resultados colorísticos  $DL^*$ ,  $Da^*$ ,  $Db^*$ , e  $Dc^*$  são apresentados na Figura 14, e demonstram o resultado final do processo de esgotamento de poliéster com MOF.

**Figura 14** – Resultado colorístico das amostras sem MOF (a) com MOF antes (b) e após (c) lavagem.



Fonte: Autora (2019).

As coordenadas referentes aos resultados de cor pós impregnação com MOF Cu(BDC) estão apresentadas na Tabela 4, onde são apresentados os valores de  $DL^*$ ,  $Da^*$ ,  $Db^*$ , e  $Dc^*$ , que se referem a claridade, coordenada vermelho/verde, coordenada amarelo/azul e a indicação da pureza da cor, respectivamente.

**Tabela 4** – Variação dos resultados colorísticos obtidos por espectrofotômetro após aplicação de MOF Cu(BDC) com tecidos antes e após lavagem.

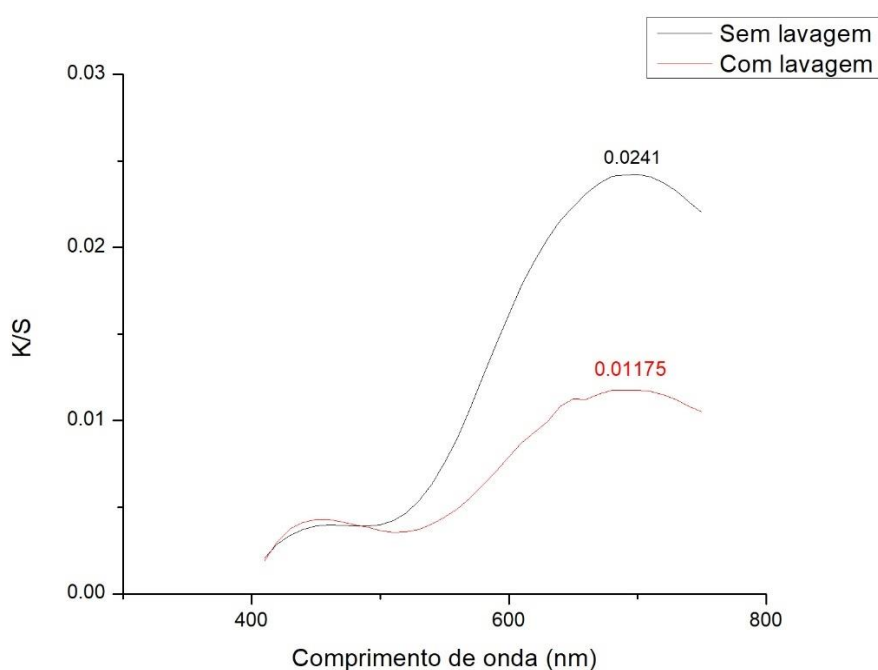
Amostra	$DL^*$	$Da^*$	$Db^*$	$Dc^*$
---------	--------	--------	--------	--------

Sem lavagem	-3.29	-3.99	-3,52	0,98
Após lavagem	-2,02	-1,80	-1,20	-0,17

Fonte: Autora (2019).

A Figura 15 demonstra o gráfico K/S por comprimento de onda (nm) utilizado para determinação da força colorística.

**Figura 15** – Gráfico da variação da refletância ao longo do espectro visível.



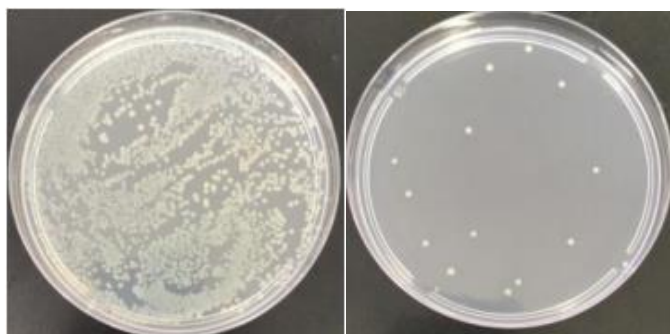
Fonte: Autora (2019).

Pode-se observar no gráfico os valores obtidos de K/S para as amostras sem lavagem, de 0,0241 e após lavagem 0,01175. Dessa forma pode-se concluir que o percentual de fixação foi de aproximadamente 49%, indicando que mais de 50% da MOF presente no poliéster após o processo de esgotamento estava depositada apenas na superfície do tecido. O percentual de MOF retido no tecido de poliéster não se mostrou muito elevado, porém deve se considerar que se trata de um valor referente a uma porcentagem de retenção mínima, já que as partículas de MOF que não saíram após lavagem estão preservadas entre as cadeias poliméricas.

### 6.3.2 Análise antimicrobiana

A avaliação do grau inibição da proliferação de bactérias do tipo *Escherichia coli*, pode ser verificado na Figura 16.

**Figura 16** – Avaliação da atividade antimicrobiana da MOF Cu(BDC).



Fonte: Autora (2019).

Após 1 hora de ensaio foi verificado uma redução logarítmica de 3,23, o que resultou na diminuição de 203.000 para 120 bactérias na placa. Pode-se verificar a redução de 99,94% de bactérias com relação a placa onde as bactérias não entraram em contato com MOF. Segundo Wyszogrodzka *et al.* (2016), diferentes estruturas de MOFs testadas também obtiveram ação antibacteriana. Como exemplo pode se citar a MOF Ag [Ag<sub>3</sub> (3-fosfonobenzoato)] contendo como centro metálico de prata, que revelou inibição do crescimento total da bactéria do tipo *Escherichia coli* (BERCHEL, 2011). No entanto alguns materiais como a prata podem causar um efeito migrante na pele humana, podendo ser até mesmo considerada como material tóxico (BEER *et al.*, 2009, 2011; KAWATA *et al.*, 2009; KIM *et al.*, 2009).

Dessa forma notou-se que alta atividade antimicrobiana foi alcançada devido a presença da MOF no tecido, uma vez que o tecido de poliéster não apresenta propriedades antibacterianas (MAGALHÃES, 2015).

## 7 CONCLUSÕES

Os processos de reciclagem tornam-se cada vez mais atrativos do ponto de vista industrial e ambiental, uma vez que novas técnicas de processos estão sendo desenvolvidas, objetivando a inserção dos produtos recuperados em processos industriais. A obtenção do ácido tereftálico reciclado pode ser considerado um processo que utiliza de tecnologia econômica e ambientalmente viável, onde de acordo com resultados obtidos, o processo torna-se pouco custoso, devido a capacidade de reutilização dos agentes químicos de forma cíclica, e de se apresentar como um processo capaz de gerar altos rendimentos com tempos e temperaturas abaixo das condições máximas.

A partir dos resultados obtidos pode-se verificar que a despolimerização de resíduos de poliéster pode gerar produtos com características semelhantes aos produtos comerciais, uma vez que os resultados foram confirmados pela espectroscopia de infravermelho e de RMN. O fato de não haver grandes interferências estruturais no ácido tereftálico de origem reciclado, possivelmente possibilitou o sucesso na síntese da MOF Cu(BDC). Esses resultados foram confirmados por difração de raio-x e espectroscopia de infravermelho, onde foi possível identificar características estruturais da MOF.

A propriedade antibacteriana da MOF foi constatada a partir da análise quantitativa, uma vez que se identificou a redução da quantidade de bactérias presentes no ensaio contendo Cu(BDC). Para avaliar o percentual de fixação das partículas no poliéster, foram realizados cálculos que possibilitaram comprovar que mesmo após lavagem o acabamento antimicrobiano se manteve, uma vez que há presença de MOF entre as cadeias poliméricas do poliéster. O processo de lavagem foi realizado para determinação das condições sem e após lavagem, no entanto o acabamento pode ser pensado para aplicação em produtos que não necessite passar por processos de lavagem, como materiais hospitalares.

Dessa forma torna se possível o entendimento da relevância do desenvolvimento de processos industriais que possam contribuir em múltiplas áreas de atuação, uma vez que existe a necessidade do desenvolvimento de produtos antibacterianos na área têxtil, e que pode ser suprida, a medida que haja uma minimização nos problemas ambientais causados pelo descarte de resíduos no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABASSI, A. R.; AKHBARI, K.; MORSALI, A. Dense coating of surface mounted CuBTC metal– organic framework nanostructures on silk fibers, prepared by layer-by-layer method under ultrasound irradiation with antibacterial activity. **Ultrasonics sonochemistry**, v.19, n.4, p.846- 852, Dez. 2012.

ABDELHAMEED, R. M.; EMAM, H.E; ROCHA, J.; SILVA, A.M. Cu-BTC metal-organic framework natural fabric composites for fuel purification. **Fuel Processing Technology**, v.159, p. 306- 312, maio 2017.

ABDELHAMEED, R. M.; SILVA, A. M.; ROCHA, J. Engineering lanthanide-optical centres in IRMOF-3 by post-synthetic modification. **New Journal of Chemistry**, vol. 39 p.4249-4258, 2015.

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET. Censo da Reciclagem de PET no Brasil - 10a Edição. 2016.

ABRAFAS. Estatísticas. Disponível em: <http://www.abrafas.org.br/site/vitrine-noticias/index/materia/estatisticas-/c/b6e>. Acesso em Out de 2018.

AMARAL, M. C.; FERREIRA, A. C.; BARUQUE-RAMOS, J. A política nacional de resíduos sólidos e a logística reversa no setor têxtil e de confecção nacional. In: 2º CONTEXMOD - Congresso Científico Têxtil e de Moda, 2014, São Paulo . Anais do 2ºCONTEXMOD. São Paulo, 2014.

ASSIS, A. H. Avaliação das mudanças ocorridas em fibras de poliéster submetidas a tratamento alcalino e enzimático. 2012. 116 f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do paraná, Curitiba, 2012.

ASSIS, R.; Adesivos poliuretanos derivados de PET reciclado: síntese, caracterização e aplicação. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, 2004.

BAIRD, C.; CANN, M. Química Ambiental – Quarta Edição. Porto Alegre. Bookman. 2011.

BAO, L.; LI, X. Towards textile energy storage from cotton T-shirts. Bao, L., & Li, X. Towards Textile Energy Storage from Cotton T-Shirts. **Advanced Materials**, v. 24, n. 24 p. 3246-3252, 2012.

BARBOSA, R. P.; IBRAIN, F. I. D. Resíduos sólidos: impactos, manejo e gestão ambiental. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014.



BARTELS, T. T. The Sadtler Handbook of Infrared Spectra, Vol. I Wm. W. Simons, editor Sadtler Research Laboratories, Inc. **Journal Of Chromatographic Science**, [s.l.], v. 16, n. 11, p.1-21, 1 nov. 1978. Oxford University Press (OUP).

BELDON, P. J.; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Indústria Têxtil e confecção brasileira**. Brasília, Jun. de 2013. Disponível em: <[http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha\\_rtcc.pdf](http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha_rtcc.pdf)>. Acesso em 24 de Out. de 2018.

BENTES, V. L. I.; Hidrólise básica de resíduos poliméricos de PET pós-consumo e degradação catalítica dos monômeros de partida. 2008. 76f. Dissertação (pós-graduação em química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

BERCHEL, Mathieu *et al.* A silver-based metal–organic framework material as a ‘reservoir’ of bactericidal metal ions. **New Journal Of Chemistry**, [s.l.], v. 35, n. 5, p.1-345, 2011.

BEER, Christiane *et al.* Toxicity of silver nanoparticles—Nanoparticle or silver ion? **Toxicology Letters**, [s.l.], v. 208, n. 3, p.286-292, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2011.11.002>.

BIEMMI, E.; SCHERB, C.; BEIN, T. Oriented Growth of the Metal Organic Framework Cu<sub>3</sub> (BTC) 2 (H<sub>2</sub>O) 3. x H<sub>2</sub>O Tunable with Functionalized Self-Assembled Monolayers. **Journal of the American Chemical Society**, ed.129, n.26, p.8054-8055, 2007.

BURKINSHAW, S. M., Physico-chemical Aspects of Textile Coloration. Wiley, 2016.

CARSON, C. G.; HARDCASTLE, K.; SCHAWRTZ, J.; Liu, X.; HOFFMAN, C.; GERHARDT, R. A.; TANNENBAUM, R. Synthesis and Structure Characterization of Copper Terephthalate Metal-Organic Frameworks. **European Journal of Inorganic Chemistry** p. 2338-2343, 2009.

CASTRO, R. N. E. Reciclagem Química de Poli(Tereftalato de Etileno) Utilizando Etanol em Condições Supercríticas. 2004. 63f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

CASTRO, R. N.E.; VIDOTTI G.J.; RUBIRA, A. F.; MUNIZ, E. C.; Depolymerization of Poly(Ethylene terephthalate) Wastes Using Ethanol And Ethanol/Water In Supercritical Conditions. *Journal of Applied Polymer Science*. 101, 2009-2016, 2006. **Chemical Society Reviews**, ed. 38, p.1213–1214, 2006.

CHEN, C.-C. A performance evaluation of MSW management practice in Taiwan. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 1353-1361, maio 2010.

CHOI, J. S.; SON, W. J.; KIM, J.; AHN, W. S. Metal-organic framework MOF-5 prepared by microwave heating: Factors to be considered. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 116, p. 727-731, 2008.

CZAJA, A. U.; TRUKHAN, N.; MULLER, U. CuBTC Metal-Organic Framework nanostructures on silk fibers, prepared by layer-Industrial application of metal-organic frameworks. **Chem. Soc. Rev.**, v.38, p.1284–1293, 2009.

DANG, G. H.; LAM, H. Q.; NGUYEN, A. T.; LE, D. T.; TRUONG, T.; PHAN, N. T. S. Synthesis of indolizines through aldehyde-amine-alkyne couplings using metal-organic framework Cu-MOF-74 as an efficient heterogeneous catalyst. **Journal of Catalysis**, 2016.

DANG, Giao H. *et al.* Quinoxaline synthesis via oxidative cyclization reaction using metal-organic framework Cu(BDC) as an efficient heterogeneous catalyst. **Applied Catalysis A: General**, [s.l.], v. 491, p.189-195, fev. 2015. Elsevier BV.

DI SOUZA, L.; TORRES, M.C.M.; RUVOLO, F. A. C. Despolimerização do poli (tereftalato de etileno) - PET: efeitos de tensoativos e excesso de solução alcalina. Departamento de Química, UFSCAR. **Polímeros**, vol.18, n.4, p.334-341, 2008.

Dring I. Anti-microbial, Rotproofing and Hygiene Finishes. Text Finish. Derek Heywood. Society of Dyers and Colourists; 2003. p. 351–71.

EDDAOUDI, M.; KIM, J.; ROSI, N.; VODAK, D.; WACHTER, J.; O'KEEFFE M.; YAGHI, O. M. Advances in the chemistry of metal-organic frameworks. **CrystEngComm**, v.68, p.401–404, 2002.

EMAM, H. E.; ABDELHAMEED, R. M. Anti UV Radiation Textiles Designed by Embracing with nano MIL (Ti, In)-Metal Organic Framework. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v.9, p. 28034–28045, jul. 2017.

EMAM, H. E.; ABDELHAMIDB, H. N.; ABDELHAMEEDD, R. M. Self-cleaned photoluminescent viscose fabric incorporated lanth anideorganic framework (Ln-MOF). **Dyes and Pigments**, v. 159, p.491-498, dez. 2018.

EMAM, H.E.; ABDELHAMEED, R. M. In-situ modification of natural fabrics by Cu-BTC MOF for effective release of insect repellent (N, N-diethyl-3-methylbenzamide). **Journal of Porous Materials**, v. 24, n.5, p.1175-1185, jan. 2017.

FAHEEM, Uddin. Some Aspects in Advancement of Textile Nanofinishing. In: The 86th Textile Institute World Conference, 2008.

FÁVARO, S. L. Reciclagem Química e Mecânica de Embalagens Multicamadas contendo PET, PE e Alumínio. 2011.131f. Tese de pós-graduação em química. Maringá, 2011.

FBIN, L.; STEIN, R. S.; THIRUMURUGAN, A.; CHEETHAM, A. K.; FRISCIC, T. Rapid Room-Temperature Synthesis of Zeolitic Imidazolate Frameworks by Using Mechanochemistry. **Angew. Chem. Int. ed.** 49, p. 9640–9643, 2010.

FEREY, G.; ELLOT-DRAZNIIEKS, C. M.; SERRE, C.; MILLANGE, F. Crystallized frameworks with giant pores: are there limits to the possible?. **Acc. Chem. Res.** v. 38, n.4, p. 217–225, jan. 2005.

FONSECA, T. G.; ALMEIDA, Y. M. B.; VINHAS, G. M.; Reciclagem Química do PET Pós-consumo: Caracterização Estrutural do Ácido Tereftálico e Efeito da Hidrólise Alcalina em Baixa Temperatura. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. **Polímeros** vol.24, n.5, São Carlos set./out. 2014.

FORLIM, F. J.; FARIAS, J. S. Considerações sobre Reciclagem de Embalagens Plásticas. Departamento de Tecnologia de Alimentos. FEA/UNICAMP/SP, Campinas, 2007.

FURUKAWA, H.; CORDOVA, K. E.; O'KEEFFE, M.; YAGHI, O. M. The chemistry and applications of metal-organic frameworks. **Science**, ed. 341, p. 6149, 2013.

WYSZOGRODZKA, Gabriela *et al.* Metal-organic frameworks: mechanisms of antibacterial action and potential applications. **Drug Discovery Today**, [s.l.], v. 21, n. 6, p.1009-1018, jun. 2016.

GAO, Yuan; CRANSTON, Robin. Recent Advances in Antimicrobial Treatments of Textiles. **Textile Research Journal**, [s.l.], v. 78, n. 1, p.60-72, jan. 2008.

GEYER, R.; KUCZENSKI, B.; ZINK, T.; HENDERSON, A. Common Misconceptions about Recycling. **Journal of Industrial Ecology** v.0, n.0, 2015.

GROUPE CTT – Centre Multiservices pour l'industrie Textile e its- Institute of tTextile Science. Textile Recycling: An Overview on Technologies and Tendencies Application. Disponível em: <[http://www.textilescience.ca/downloads\\_2013/Recycling\\_claire\\_guignier\\_apr12\\_2-13.pdf](http://www.textilescience.ca/downloads_2013/Recycling_claire_guignier_apr12_2-13.pdf)>. Acesso em Out de 2018.

GUO, Y. F.; FANG, W. J. J.; FU, R. Facile synthesis of Ag@ZIF-8 core-shell heterostructure nanowires for improved antibacterial activities. **Appl. Surf. Sci.** ed. 435, p.149–155, 2018.

HAWLEY, J. M. Textile recycling: a system perspective. In: Recycling in textiles (Edited by Youjiang Wang). Cambridge (England): Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, 2006. 230 p.

HECKLEMAN, P. E.; O'NEIL, M. J.; KOCH, C. B.; ROMAN, K. J. The Merck Index: Na Encyclopaedia of Chemicals, Drugs ans Biologicals. 14th Edition. New York, Merck & Co. Inc, 2006.

HORCAJADA, P.; SERRE, C.; REGÍ, M. V.; SEBBAN, M.; TAULELLE, F.; FÉREY, G. Metal-organic frameworks as efficient materials for drug delivery. **Angew. Chem. Int. ed.** 45, p.5974, 2006.

HOUCK, M. M. Identification of textile fibers. Publishing by Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Great Abington Cambridge CB21 6AH, England, 2009.

HUYSMAN, S. *et al.* The recyclability benefit rate of closed-loop and open-loop systems: A case study on plastic recycling in Flanders. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, p. 53–60, 2015.

IKENAGA, K.; INOUE, T.; KUSAKABE, K. Hydrolysis of PET by Combining Direct Microwave Heating with High Pressure”. **Procedia Engineering**, ed.148, p. 314-318, 2016.

JHUNG, S.H.; LEE, J.H.; YOON, J. W.; SERRE, C.; FÉREY, G.; CHANG, J.S. Microwave Synthesis of Chromium Terephthalate MIL - 101 and Its Benzene Sorption Ability. **Adv. Mater.**, v.19, p.121, 2007.

KAMEL, O. M.; ABDELHAMEED, R. M.; AMR, A.; ROCHA, J.; SILVA, A.M. Antimosquito activity of a titanium-organic framework supported on fabrics. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v.9, p. 22112-22120, Jul.2017.

KANG, Z.; FAN, L.; SUN D. Recent advances and challenges of metal-organic framework membranes for gas separation. **J. Mater. Chem. A**, v.5, p.10073-10091 2017.

KAWATA, K.; OSAWA, M.; OKABE, S. In vitro toxicity of silver nanoparticles at noncytotoxic doses to HepG2 human hepatoma cells. **Environ Sci Technol.** 2009; 43(15):6046– 6051.

KIM, J.; KIM, W. Y.; AHN, W. S. Amine-functionalized MIL-53(Al) for CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> separation: Effect of textural properties. **Fuel**, Vol.102, p.574-579, 2012.

KIM, J.; YANG, S. T.; CHOI, S. B.; SIM, J. K.; AHN, W. S. Control of catenation in CuTATB-*n* metal–organic frameworks by sonochemical synthesis and its effect on CO<sub>2</sub> adsorption. **J. Mater. Chem.**, v. 21, p. 3070-3076, 2011.

KITAGAWA, S.; KITAURA, R.; NORO, S. Functional porous coordination polymers. **Angew. Chem. Int**, ed. 43, p. 2334–2375, 2004.

KUASNE, A. Curso têxtil em malharia e confecção - 2º módulo: Fibras Têxteis. ed.2, Ararangua, 2008. 90 p.

Kortüm, G., & Oelkrug, D. (1964). Über den Streukoeffizienten der Kubelka-Munk-Theorie. *Zeitschrift Für Naturforschung A*, 19(1).

LANGE, L. C. *et al.* Processos Construtivos de Aterros Sanitários: Ênfase no Estudo de Camadas de Cobertura como Mecanismo de Controle da Geração de Lixiviados. In: CASTILHOS JUNIOR, A.B. (Org.). Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água; prevenção, geração e tratamento de lixiviados de tratamento de lixiviados de aterros sanitários. 1.ed. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, p. 109-208, 2006.

LAVADO, F. E. L. La industria textile y su control de calidad: fibras textiles. Barcelona, v.2, 2013.

LENZING. The Global Fiber Market in 2016. Available at: <http://www.lenzing.com/en/investors/equity-story/global-fibermarket.html> . Acesso em Out. de 2018.

MAKIURA, R.; MOTOYAMA, S.; UMEMURA, Y.; YAMANAKA, H.; O. SAKATA,; KITAGAWA, H. Surface nano-architecture of a metal–organic framework. **Nature materials**, Vol. 9, jul. 2010.

MAGALHÃES, Andreia Patrícia Sousa Alves de. Atividade antimicrobiana em têxteis. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Controlo de Qualidade na Especialização de Água e Alimentos, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

MANCINI. D. S.; ZANI, M.; Influência de meios reacionais na hidrólise de PET pós-consumo. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.12, p. 34–40 ,2002.

MANO, E. B.; PACHECO, E. B. A. V.; BONELLI, C. M. C. Meio ambiente, Poluição e Reciclagem. 2ª Edição. São Paulo: Blucher, 2010.

MARTINS; S. B.; PEREZ; I. U. Estratégias para a redução de resíduos no setor de confecção de produtos de moda. In: VIII COLÓQUIO DE MODA, Rio de Janeiro, 2012.

MEHMOOD, T.; KAYNAK, A.; DAI, X. J.; KOUZANI, A.; MAGNIEZ, K.; CELIS, D.; HURREN C. J.; PLESSIS, J. Study of oxygen plasma pre-treatment of polyester fabric for improved polypyrrole adhesion. **Mater Chem. Phys.** ed.143 v.2, 2014.

MENEGUCCI, F. *et al.* Resíduos têxteis: Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção. In: XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 2015.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). International Chemical Safety Cards (ISCS): Terephthalic Acid. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0330.html>>. Acesso em out de 2018.  
NZIHOU, A. Waste and Biomass Valorization. **Waste & Biomass Valorization**, v.1, p.1-2, 2010.

OERLIKON, 2010. The Fiber Year 2009/10. A World Survey on Textile and Nonwovens Industry. Maio de 2010.

PARK, J. H.; PARK, S. H.; JHUNG, S. H. Microwave-Syntheses of Zeolitic Imidazolate Framework Material, ZIF-8. **Journal of the Korean Chemical Society**, v. 53, p.553-559, 2009

PASZUN, D.; SPYCHAJ, T.; Chemical Recycling of Poly(ethylene terephthalate). **Industria & Engineering Chemistry**, v. 36, n. 4, 1997.

PICHON, A.; JAMES, S. L. Na array-based study of reactivity under solvent-free mechanochemical conditions – insights and trends. **Cryst. Eng. Comm.** v. 10, p.1839-1847, 2008.

PIVA, A. M.; WIEBECK, H. Reciclagem do Plástico. (2004). São Paulo: Artliber.

PUTHIARAJ, P.; SURESHA, P.; PITCHUMANI, K. Aerobic homocoupling of arylboronic acids catalysed by copper terephthalate metal–organic frameworks. **Green Chem.**, v.16, p.2865–2875, 2014

REHAN, M.; HARTWIG, A.; OTT, M.; Gätjen, L.; WILKEN, R. Enhancement of photocatalytic selfcleaning activity and antimicrobial properties of poly (ethylene terephthalate) fabrics. **Surface and Coatings Technology**, v.19, p. 50-58, 2013.

ROSMANINHO, M. G.; **Transformando Dejetos de PET em Materiais de Importância Tecnológica**. 2005. 152f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ROSSINI, L. E. Obtenção da blenda polimérica PET/PP/PE/EVA a partir de “Garrafas PET” e o estudo das modificações provocadas pela radiação ionizante. 2005. 161 f. Tese (Doutorado Tecnologia Nuclear-Aplicações). Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2005.

ROSTAMNIA, S.; ALAMGHOLILLO, H.; Liu, X. Pd-grafted Open Metal Site Copper-benzene-1,4dicarboxylate Metal Organic Frameworks (Cu-BDC MOF’s) as Promising Interfacial Catalysts for Sustainable Suzuki Coupling. **Journal of Colloid and Interface Science**, ed.469, p.310-317, 2016.

SALEH, N.; EMAM, H. E.; NAGY, K. S.; Zahran, M. Instantly AgNPs deposition through facile solventless technique for poly-functional cotton fabrics. **International journal of biological macromolecules**, v. 84, p. 308-318, 2016.

SALEM, V. **Tingimento têxtil: Fibras, Conceitos e Tecnologias**. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010. 297p.

SAMMARCO, C.; DELFINO, L. Mercado brasileiro tem potencial para ampliar a reciclagem de plástico. **Plástico Industrial**, n. 7, p. 106, Mar. 1999.

SANDIN, G.; PETERS, G. M. Environmental impact of textile reuse and recycling. A review, **Journal of Cleaner Production**, 2018.

SEO, Y. K.; HUNDAL, G.; JANG J. T.; HWANG, Y. K.; JUN, C. H.; CHANG, J. S. Microwave synthesis of hybrid inorganic-organic materials including porous Cu<sub>3</sub>(BTC)<sub>2</sub> from Cu(II)-Trimesate Mixture. **Micropor. Mesopor. Mater.**, v.119, p.331-337, 2009.

SHEKHAH, O., Layer-by-Layer Method for the Synthesis and Growth of Surface Mounted Metal-Organic Frameworks (SURMOFs). **Materials**, 2010.

SHETE, Meera *et al.* On the direct synthesis of Cu(BDC) MOF nanosheets and their performance in mixed matrix membranes. **Journal Of Membrane Science**, [s.l.], v. 549, p.312-320, mar. 2018.

SILVA, C. M. P. Tratamento Alcalino e Enzimático de Fibras Sintéticas. 2002. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Fabricação). Universidade de Minho. Minho, 2002.

SILVA, C. T. Avaliação de Metodologia de Obtenção do Ácido tereftálico via Reciclagem Química do PET. 2012.110f. Dissertação de Mestrado (Programa De Pós-Graduação Em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

SILVERSTEIN, Robert M.; BASSLER, G. Clayton. Spectrometric identification of organic compounds. **Journal Of Chemical Education**, [s.l.], v. 39, n. 11, p.1-546, nov. 1962. American Chemical Society (ACS).

SOUZA, L; TORRES, M.C; RUVULO, A. C. F. Despolimerização do Poli (Tereftalato de Etileno) – PET: Efeitos de Tensoativos e Excesso de Solução Alcalina. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.18, nº 4, p. 334-340, 2008.

SOUZA, Luiz di; TORRES, Maria Conceição M.; RUVULO FILHO, Adhemar C. Despolimerização do poli (tereftalato de etileno) - PET: efeitos de tensoativos e excesso de solução alcalina. **Polímeros**, [s.l.], v. 18, n. 4, p.334-341, 2008.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A. Tecnologia da Reciclagem de Polímeros. **Química Nova**, v.28, n.1, p.65-72, fev. 2005.

STOCK, N.; BISWAS, S. Synthesis of Metal-Organic Frameworks (MOFs): Routes to Various MOF Topologies, Morphologies, and Composites. **Chemical Reviews**, ed.112(2), p.933–969, 2012.

TEXTILE RECYCLING ASSOCIATION. Ouvertes Project - Report by Textile Reuse and Recycling Players on the Status of the Industry in Europe, 2005. Disponível em: <[http://www.textilerecycling.org.uk/downloads/Report\\_Ouvertes\\_Project\\_June2005%5B1%5D .pdf](http://www.textilerecycling.org.uk/downloads/Report_Ouvertes_Project_June2005%5B1%5D.pdf)>. Acesso em Out. de 2018.

The American Association of Textile Chemists and Colorists. AATCC 147:2004. Antibacterial Activity of Textile Materials: Parallel Streak Method, 2012.

The Sadtler Handbook of infrared spectra. Sadtler Research Laboratories Inc. (1978).

TILLINGHAST, E.K.; TOWNLEY, M. Chemistry, Physical Properties, and Synthesis of Araneidae. Orb Webs. In: Nentwig W. (eds) Ecophysiology of Spiders. Springer, Berlin, Heidelberg, 1987.

TONANI, P. Responsabilidade decorrente da poluição por resíduos sólidos: de acordo com a Lei 12.305/2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2ª ed. rev., atual. Rio de Janeiro: Forense: São Paulo: Método, 2011.

WANG, C.; QIAN, X.; AN, X. In situ green preparation and antibacterial activity of copper-based metal–organic frameworks/cellulose fibers (HKUST-1/CF) composite. **Cellulose**, v 22, p. 3789-3797, 2015.

WANG, C.; WANG, J.; LIN, W. Elucidating molecular iridium water oxidation catalysts using metal organic frameworks: a comprehensive structural, catalytic, spectroscopic, and kinetic study. **J. Am. Chem. Soc.**, ed.134, p.19895–19908, 2012.

WELLE, F. Twenty years of PET bottle to bottle recycling - An overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 865–875, 2011.

World Survey on Textiles and Nonwovens. The Fiber Year Consulting, 2015. Disponível em: <http://www.textilemedia.com/assets/Uploads/TFY15-sample-pages.pdf>. Acesso em Out. de 2018.

YANG, Zhen *et al.* Facile synthesis of Cu-BDC/Poly(N-methylol acrylamide) HIPE monoliths via CO<sub>2</sub>-in-water Emulsion stabilized by metal-organic framework. **Polymer**, [s.l.], v. 153, p.17-23, set. 2018. Elsevier BV.

ZANI, M. Influência de Meios Reacionais na Hidrólise de PET pós-consumo. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, ed.12, p. 34-40, 2002.

ZHENG, J.; ZHAO, Q.; YE, Z; Preparation and characterization of activated carbon fiber (ACF) from cotton woven waste. **Applied Surface Science** 299, 86-91, 2014.

ZHENG, Y.; XU, Z.; YUAN, Z.; CHEAN, W.; HUANG, Y.; ZHANG, H.; TIAN, T.; DENG, H.; ZHOU, D.; ZHOU, Y.; SUN, Z. Highly mesoporous activated carbon synthesized by pyrolysis of waste polyester textiles and MgCl<sub>2</sub>: Physicochemical characteristics and pore-forming mechanism. School of Environment and Architecture. University of Shanghai for Science and Technology. China, 2018.