



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**JULIANA ARAÚJO MARQUES FRANÇA**

**ESTUDO DA DESPOLIMERIZAÇÃO E SUAS TECNOLOGIAS, PARA  
REGENERAÇÃO DO ÁCIDO TEREFTÁLICO VIA HIDRÓLISE ALCALINA A  
PARTIR DO PET PÓS CONSUMO**

**CAMPINA GRANDE**

**2018**

**JULIANA ARAÚJO MARQUES FRANÇA**

**ESTUDO DA DESPOLIMERIZAÇÃO E SUAS TECNOLOGIAS, PARA  
REGENERAÇÃO DO ÁCIDO TEREFTÁLICO VIA HIDRÓLISE ALCALINA A  
PARTIR DO PET PÓS CONSUMO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Tecnologia

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Edilane Laranjeira  
Pimentel.

**CAMPINA GRANDE**

**2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M357e Marques, Juliana Araujo.

Estudo da despolimerização e suas tecnologias, para regeneração do ácido tereftálico via hidrólise alcalina a partir do PET pós consumo [manuscrito] / Juliana Araujo Marques. - 2018.

29 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Profa. Dra. Edilane Laranjeira Pimentel , Coordenação do Curso de Química Industrial - CCT."

1. Politereftalato de Etileno - PET. 2. Hidrólise alcalina. 3. Gestão de resíduos sólidos. 4. Reciclagem química. I. Título

21. ed. CDD 363.728

JULIANA ARAÚJO MARQUES FRANÇA

ESTUDO DA DESPOLIMERIZAÇÃO E SUAS TECNOLOGIAS, PARA REGENERAÇÃO  
DO ÁCIDO TEREFTÁLICO VIA HIDRÓLISE ALCALINA A PARTIR DO PET PÓS  
CONSUMO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Química Industrial.

Aprovada em: 03/12/2018

**BANCA EXAMINADORA**



Prof.ª Dr.ª Edilane Laranjeira Pimentel (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof.ª Dr.ª Maria Roberta de Oliveira Pinto  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Aos meus pais, esposo, pelo companheirismo,  
compreensão, esforço e amor, *DEDICO*.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela presença marcante em minha vida fazendo com que eu superasse todos os obstáculos.

Aos meus pais que tem um papel fundamental nessa minha conquista, sempre impulsionando e nunca deixando desistir. Não posso deixar de destacar minha mãe, Maria do Carmo Araújo Marques a qual dedico essa vitória, pois nunca me deixou fraquejar.

Ao meu irmão que sempre esteve disposto a ajudar nas horas de dificuldades.

A meu esposo Ramon Kléber Costa França, pelo incentivo e companheirismo que esteve sempre ao meu lado apoiando os meus projetos me impulsionando para novas conquistas.

A minha orientadora Edilane Laranjeira Pimentel que se prontificou a contribuir com seus conhecimentos para a realização desse trabalho. Sem ela não seria possível a realização do mesmo. Meu muito Obrigado!

A minha amiga Edilânia Siva do Carmo que divido as alegrias, angustias e expectativas e que nas horas em que mais precisei sempre estava me apoiando, não me deixando fraquejar.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para consolidação desta conquista. Obrigada!

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

**José de Alencar**

## RESUMO

A vida moderna, juntamente com as novas tecnologias, tem provocado um índice cada vez maior do uso de embalagens resultando no aumento da produção de resíduos sólidos e conseqüentemente em impacto ambiental. Em virtude do crescimento exacerbado do consumo de embalagens descartáveis, surgiu a necessidade em realizar a reciclagem desses materiais. Dentre eles, está o PET- politereftalato de etileno, bastante utilizado principalmente em embalagens de bebidas carbonatadas e de refrigerantes. Com o uso indiscriminado do PET, surgiu o descarte indevido no ambiente, ocasionando um grave problema ambiental. Com o intuito de minimizar o problema, relacionado ao acúmulo de resíduos desse material, a busca por novas tecnologias para a reciclagem do PET e o aproveitamento de seus subprodutos tem sido cada vez mais explorados. A despolimerização é uma técnica indispensável para a realização da reciclagem química que esta, pode ser dividida em hidrólise, glicólise e metanólise. Sendo que somente através da hidrólise podemos obter o ácido tereftálico. Assim, a maior parte do PET reciclado é utilizado para a fabricação de produtos de baixo valor agregado. Com isso, o presente trabalho foi desenvolvido com a proposta de buscar técnicas através de artigos e patentes que mostra a regeneração do ácido tereftálico que é um subproduto de alto valor agregado, que é extraído a partir da reação de despolimerização via hidrólise alcalina.

**Palavras-Chave:** Politereftalato de Etileno, Hidrólise Alcalina, Polímeros.

## ABSTRACT

Modern life, coupled with new technologies, has led to an increasing number of packaging uses resulting in increased production of solid waste and consequently environmental impact. Due to the exacerbated growth in the consumption of disposable packaging, the need to recycle these materials arose. Among them is PET-polyethylene terephthalate, widely used mainly in the packaging of carbonated beverages and soft drinks. With the indiscriminate use of PET, undue discarding of the environment has occurred, causing a serious environmental problem. In order to minimize the problem, related to the accumulation of residues of this material, the search for new technologies for the recycling of PET and the use of its by-products has been increasingly explored. The depolymerization is an indispensable technique for carrying out the chemical recycling that can be divided into hydrolysis, glycolysis and methanolysis. It is only through hydrolysis that terephthalic acid can be obtained. Thus, most recycled PET is used for the manufacture of low value-added products. Thus, the present work was developed with the proposal of searching techniques through articles and patents that shows the regeneration of terephthalic acid which is a high added value by-product, which is extracted from the depolymerization reaction via alkaline hydrolysis.

**Keywords:** Polyethylene terephthalate, Chemical treatment, Polymers

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Estrutura química do PET .....	14
Figura 2 Reação do PET a partir do EG e AT .....	15
Figura 3 -Reação Geral da Esterificação .....	15
Figura 4 - Reação geral: Transesterificação .....	16
Figura 5 - Mecanismo de Reação de metanólise do PET .....	18
Figura 6 - Mecanismo de Reação de glicólise do PET .....	18
Figura 7 - Mecanismo da reação de hidrólise do PET .....	19

## LISTA DE SIMBOLOS

**ABIPET:** Associação Brasileira da Indústria do PET

**AT:** Ácido tereftálico

**CEMPRE:** Compromisso empresarial para reciclagem

**DMT:** Dimetil tereftalato

**EG:** Etileno glicol

**FTIR:** Infravermelho por transformada de Fourier

**HCl:** Ácido clorídrico

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:** Ácido sulfúrico

**PET:** Politereftalato de etileno

**RMN:** Ressonância magnética nuclear

**NaOH:** Hidróxido de Sódio

**PE:** Polietileno

**PVC:** Poli (Cloro de Vinila)

**PP:** Polipropileno

**BHET:** bis-hidroxi-etil tereftalato

## Sumário

11 INTRODUÇÃO .....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1 Polímero.....	13
2.1.1 Politereftalato de Etileno .....	14
2.2 Reciclagem do PET .....	16
2.2.1 Reciclagem Química (Despolimerização) .....	17
2.2.1.1- Metanólise .....	18
2.2.1.2- Glicólise .....	18
2.2.1.3 Hidrólise .....	19
3 RESULTADOS E DISCURSÃOES .....	23
4 METODOLOGIA.....	24
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	25
REFERÊNCIAS .....	26



## 1 INTRODUÇÃO

O Politereftalato de Etileno é um polímero termoplástico, da família dos poliésteres. A caracterização como termoplástico confere a este material a possibilidade de reprocessamento por diversas vezes, pois quando submetido ao aquecimento, o PET amolece e se funde, podendo ser novamente moldado sem perda de propriedades. Além disso, possui resistência mecânica e química, sendo desta forma, o plástico mais aplicado na fabricação de garrafas, embalagens para bebidas carbonatadas, águas, sucos, entre outros (ABIPET, 2010).

Em termos ambientais, o grande problema com os polímeros é a resistência deles frente a degradação microbiana. O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016 mostra que 3.326 municípios brasileiros destinam seus resíduos sólidos para locais impróprios. Isso equivale a 59,7% dos municípios (ABRELPE, 2016). O mesmo documento registra que 76,5 milhões de pessoas sofrem os impactos negativos causados pela destinação inadequada dos resíduos.

No Brasil, somamos cerca de 7 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos por ano que não são coletados ou têm destinação inadequada. Esse cenário resulta em um avassalador prejuízo a saúde de mais de 96 milhões de pessoas em todas as regiões do país (ABRELPE, 2016).

Porém, alguns polímeros como o PET, que é um poliéster, podem ser degradados por vias químicas. A reciclagem química reprocessa plásticos transformando-os em petroquímicos básicos, que são monômeros ou misturas de hidrocarbonetos. Estes servem como matéria-prima, em refinarias ou centrais petroquímicas, para a obtenção de produtos nobres de elevada qualidade. Assim, este processo tem como objetivo a recuperação dos componentes químicos individuais para serem reutilizados como produtos químicos ou para a produção de novos plásticos com a mesma qualidade de um polímero original. Além disso, essa reciclagem permite tratar misturas de plásticos, reduzindo custos de pré-tratamento, custos de coleta e seleção (PLASTIVIDA, 2009).

A reciclagem química conduz a total despolimerização do PET aos monômeros. A decomposição via hidrólise, além de colaborar com a proposta ambiental também contribui economicamente, pois pro meio dela é possível obter etilenoglicol (EG) e principalmente o ácido tereftálico com apenas uma reação.

Vários estudos sobre o processo de despolimerização do PET via hidrólise alcalina tem sido realizado. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo principal, realizar um

estudo, onde busca em artigos e patentes, técnicas de despolimerização via hidrólise alcalina, nos quais mostra a melhor maneira de otimizar esse processo de reciclagem.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Polímero

A palavra polímero origina-se do grego poli(muitos) e mero (unidade de repetição). De acordo com Canevarolo Jr. (2010), um polímero é uma macromolécula composta por muitas unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria-prima de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma unidade de repetição.

Os polímeros podem ser classificados de diversas formas, como quanto a sua ocorrência, seu comportamento mecânico, quanto a obtenção, tipo de cadeia e se tem mais de uma unidade de repetição entre outros. Dentre essas classificações, as de maior interesse para o presente trabalho é quanto ao tipo de cadeia e ao comportamento mecânico.

Uma cadeia polimérica pode apresentar-se de várias maneiras, estruturalmente falando:

Cadeias lineares – Ocorre quando a cadeia polimérica é constituída apenas por uma cadeia principal. Acontece quando a formação do polímero envolve um monômero bifuncional (como é o caso do processo de obtenção do PET);

Cadeias ramificadas – Quando existem alguns prolongamentos que partem da cadeia polimérica principal;

Cadeias com ligações cruzadas – Podem ser chamadas também de cadeias reticuladas. Ocorre quando as cadeias poliméricas estão ligadas entre si através de segmentos de cadeia unidas por ligações covalentes;

De acordo com as características do monômero é possível dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Elastômeros (borrachas) e Fibras.

Plásticos – Pode ser definido, sob o ponto de vista mecânico, como um material polimérico que se apresenta em estado sólido na temperatura de utilização. Podem ser divididos em duas subcategorias:

Termoplásticos – Plásticos com cadeia polimérica linear ou pouco ramificada e que sobre um grande aumento na temperatura, amolecem e se liquefazem de maneira que podem ser moldados nessas condições e, quando o material resfria, o plástico tomará a forma do molde. Esse processo pode ser repetir várias vezes e por isso os termoplásticos são recicláveis (exemplos: PE, PP, PET e PVC);

Termofixos – são plásticos que são maleáveis apenas no momento de sua fabricação, sendo que depois não é possível remodelá-los, eles se decompõem. Não é possível remodela-

los porque suas macromoléculas formam ligações em todas as direções do espaço, formando uma rede tridimensional chamada de reticulado. Os polímeros termorrígidos são infusíveis e insolúveis em solventes orgânicos comuns. Não são recicláveis (exemplos: baquelite e araldite);

Elastômeros – São substâncias, cuja cadeia polimérica apresenta uma baixa densidade de ligações cruzadas e por isso conseguem, diante de uma tensão, deformar-se até duas vezes o comprimento inicial, e são capazes de voltar ao tamanho normal, quando a tensão já não existe (Exemplo: borracha vulcanizada).

Fibras – São termoplásticos orientados pelo eixo principal da fibra. Essa orientação confere um acréscimo à resistência mecânica dessa classe de materiais. (Exemplos: PET e Poliacrilonitrila - PAN ). (Canevarolo jr. 2010).

### 2.1.1 Politereftalato de Etileno

O PET é um poliéster termoplástico formado a partir do ácido tereftálico (AT) e do etilenoglicol (EG), a caracterização como termoplástico confere a este material a possibilidade de reprocessamento por diversas vezes, pois quando submetido ao aquecimento, o PET amolece e se funde podendo ser novamente moldado sem perda de propriedades. Além disso, possui resistência mecânica e química, sendo desta forma, o plástico mais aplicado na fabricação de garrafas, embalagens para bebidas carbonadas, água, sucos, entre outros (ABIPET, 2012). Desta forma, pode-se ver a estrutura química do PET na figura 1.

**Figura 1 - Estrutura química do PET**



Fonte: Mendes e Mano, 1999

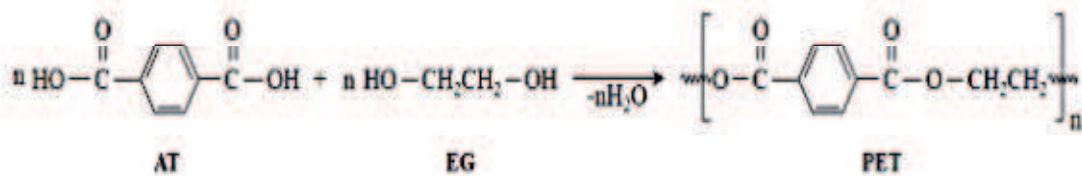
Segundo a ABIPET (2010), as embalagens PET representam uma alternativa que viabiliza as necessidades do consumidor além da proteção ambiental.

As características principais, que fazem com que a sua utilização seja de grande importância é sua transparência e brilho; leveza e resistência; inquebrável e seguro; barreira a gases em bebidas carbonatadas; inerte; acondiciona maiores volumes; sistema de fechamento

que assegura total higiene e preservação do produto, evitando desperdícios, além de ser 100% reciclável.

O PET é obtido por condensação, através da reação entre o ácido tereftálico (AT) ou dimetil tereftalato (DMT) e o etileno glicol como é ilustrada na Figura 2.

**Figura 2 -Reação do PET a partir do EG e AT**

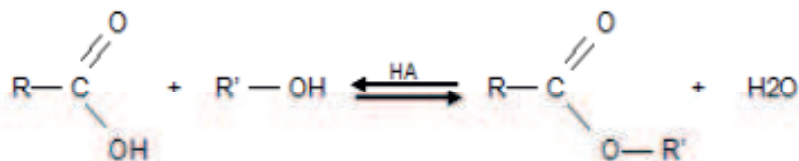


Fonte: Bentes, 2008

O PET pode ser sintetizado de duas formas: a partir da reação entre um ácido carboxílico e um álcool (esterificação) ou da reação entre um éster e um álcool (transesterificação) (MANO et al. 2004).

Esterificação: é uma reação de condensação na qual, ácidos carboxílicos reagem com álcoois formando ésteres, seguindo a reação geral apresentada na Figura 3 (MANO et al. 2004).

**Figura 3 -Reação Geral da Esterificação**

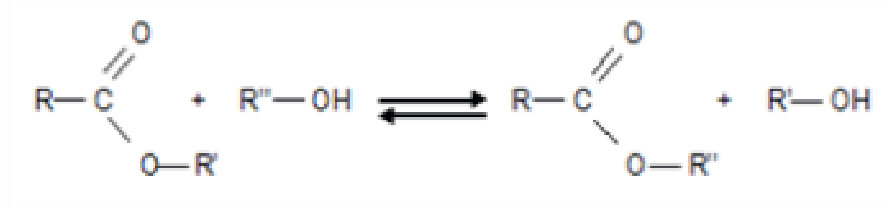


Fonte: SOLOMONS e FRYHLE, 2000.

Essas reações são catalisadas por ácidos e desenvolvem-se lentamente na ausência de ácidos fortes, entretanto, quando um ácido ou um álcool são refluxados com pequena quantidade de ácido sulfúrico concentrado ou ácido clorídrico o equilíbrio é alcançado em poucas horas. Um excesso do ácido carboxílico ou do álcool, baseados no reagente limitante, e até mesmo, a remoção da água formada no meio reacional contribuem para o aumento do rendimento da reação de esterificação (SOLOMONS e FRYHLE, 2000).

Transesterificação: é uma reação de um éster com um álcool formando outro éster e outro álcool conforme ilustrado na Figura 4. Esta reação pode ser catalisada por ácidos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{HCl}$  anidro) ou por bases. Para obter bons rendimentos nesta reação pode-se utilizar álcool em excesso, ou então remover um dos produtos da reação à medida que ele se forma, para que desta maneira o equilíbrio seja deslocado para o sentido da formação do produto e ocorra completo esgotamento dos reagentes (MORRISON e BOYD, 1993).

**Figura 4 - Reação geral da Transesterificação**



Fonte: Morrison et al. 1993.

## 2.2 Reciclagem do PET

De acordo com Spinacé e De Paoli (2005), a reciclagem do PET traz consigo inúmeras vantagens, tendo em vista que sua principal matéria prima é o petróleo, um recurso não renovável. Além do mais, essa reciclagem representa uma fonte de matéria prima para regeneração desta resina, pois obtemos o ácido Tereftálico com elevado grau de pureza, produto esse que ainda é importado pelo nosso país.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (2018), através do censo 2015, pode-se perceber que houve uma queda na evolução da reciclagem do PET em 2015 quando comparado aos anos anteriores 2012 e 2014. Essa queda pode ser associada à baixa atividade econômica e drástica redução do preço do petróleo. Os setores que são grandes consumidores do PET reciclado tiveram quedas de quase 50% de suas atividades, o que também refletiu negativamente sobre a queda da reciclagem do PET.

Devido a perda da qualidade dos materiais vindos da reciclagem mecânica do PET, a reciclagem química vem despertando grande interesse pela comunidade científica. Tendo em vista que, os produtos derivados da reciclagem química do PET apresentam grande versatilidade de aplicação econômica.

A reciclagem química pode ser aplicada em praticamente todos os resíduos de polímeros de condensação, como poliésteres (PET), poliamidas (náilon) e polímeros produzidos por adição como o poliuretano, os quais são muito vulneráveis a clivagem da

cadeia polimérica. (LORENZETTI *et al.*, 2006; ROSMANINHO, 2005; PIVA e WIEBECK, 2004).

Desta forma, o acúmulo desse material na natureza só aumenta a cada dia. O descarte inadequado, e a demora na decomposição traz grandes prejuízos ao ambiente. Por isso, a grande importância no investimento da reciclagem que tem algumas vertentes, como reciclagem energética, reciclagem mecânica e uma das quais ganha destaque é a reciclagem química, devido a sua grande rentabilidade para a indústria.

### 2.2.1 Reciclagem Química (Despolimerização)

A reciclagem química é definida como o processo que provoca a despolimerização total ou parcial do polímero. Os monômeros podem ser repolimerizados para recompor o polímero original. Em outras palavras, a reciclagem química é uma tecnologia avançada que transforma polímeros plásticos em moléculas menores, majoritariamente líquidos ou gases. O produto final, além de poder gerar novamente o polímero original, pode ser usado como combustível (GOODSHIP. V, 2007)

Polímeros de condensação como o PET e o nylon passam por degradação para produzir unidades monoméricas, ou seja, matéria-prima ou monômeros reciclados. A principal vantagem da reciclagem química é a possibilidade de tratamento heterogêneo de polímeros contaminados com limitado uso de pré-tratamento (AL-SALEM *et al.* 2009).

A reciclagem de lixo sólido plástico através de rota química pura pode ser resumida pelas seguintes tecnologias: hidrólise, glicólise, aminólise, metanólise.(AL-SALEM *et al.* 2009).

O processo de reciclagem química para o PET foi implementado aproximadamente em paralelo com a manufatura do polímero em escala comercial. Isto se confirma pela grande quantidade de patentes que surgiram a partir de 1950. Inicialmente, a reciclagem química encontrou uma aplicação, uma maneira de utilizar os resíduos resultantes no ciclo de produção do PET. Em tempo, uma mudança no consumo da estrutura do PET, além de uma mudança de consciência, causou a ênfase para ser colocada na reciclagem de lixo pós-consumo (PASZUN e SPYCHAJ, 1997).

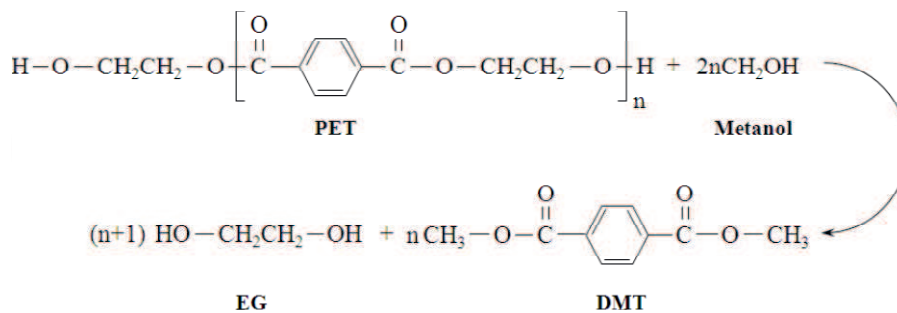
Por razões históricas e práticas, os processos de degradação química do lixo de PET são usualmente divididos como: metanólise, glicólise, hidrólise, amonólise, aminólise e outros processos. Metanólise e glicólise são aplicados principalmente em escala comercial. Nos últimos anos aumentou o interesse na produção de produtos intermediários oligoméricos de

componentes especializados da indústria química advindos do lixo do PET (PASZUN e SPYCHAJ, 1997).

### 2.2.1.1- Metanólise

No processo de metanólise ocorre a despolimerização do PET por sólvolise, onde o agente despolimerizante é o metanol e os produtos obtidos na metanólise total são o EG e DMT como mostrado na Figura 5 (Lorenzetti, Manaresi, Berti, e Barbiroli, 2006; Assis, 2004; Paszun e Spychaj, 1997; ROSU, F., SHANKS, R. A., BHATTACHARYA, 1997).

**Figura 5 - Mecanismo de Reação de metanólise do PET**



Fonte: Assis, 2004

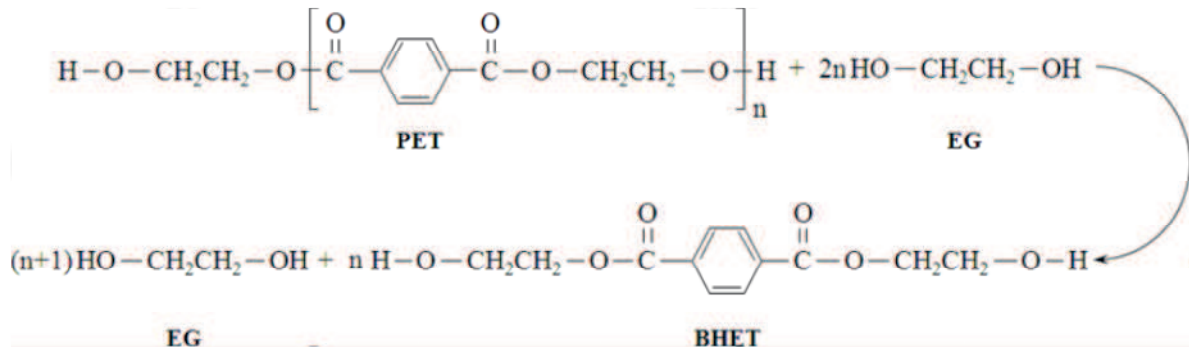
### 2.2.1.2- Glicólise

De acordo com Paszun e Spychaj (1997), a glicólise é classificada como o segundo método mais importante de reciclagem química do PET. Este processo consiste na despolimerização do PET, utilizando como agente despolimerizante o próprio EG, levando a formação de outros diésteres. Quando a glicólise ocorre de maneira total, produz o BHET como mostrado na

Figura 6. Entretanto, quando a glicólise é parcial, são produzidos oligômeros que são utilizados na preparação de resinas poliésteres insaturadas, resinas alquídicas e poliuretanas.

**Figura 6 - Mecanismo de Reação de glicólise do PET**



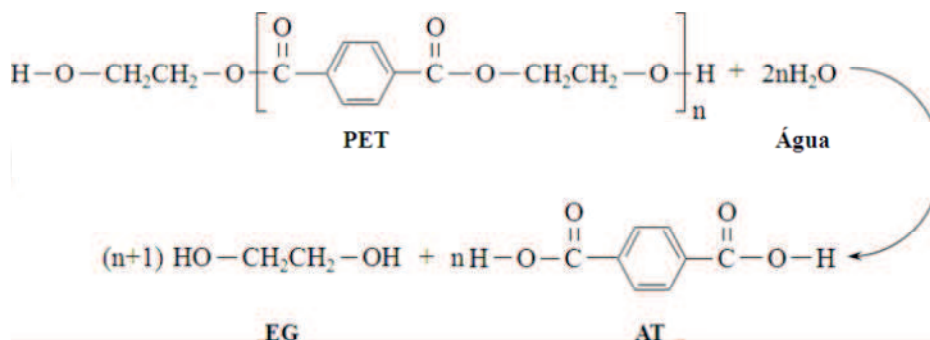


Fonte: Assis 2004

### 2.2.1.3 Hidrólise

A hidrólise do PET é o processo de reciclagem química que consiste em uma desesterificação, utilizando como agente despolimerizante a própria água, tendo como produtos AT e o EG (Lorenzetti, Manaresi, Berti, & Barbiroli, 2006; Rosmaninho, 2005; Assis, 2004; Paszun & Szychaj, 1997). A Figura 7 ilustra o mecanismo de hidrólise do PET.

**Figura 7 - Mecanismo da reação de hidrólise do PET**



Fonte: Assis, 2004

Os processos hidrolíticos podem ser conduzidos em diferentes meios reacionais comumente conhecidos como: hidrólise ácida, hidrólise básica e hidrólise neutra. (BENTES, V.L.I., 2008).

A hidrólise ácida pode ser realizada utilizando-se diversos ácidos minerais, sendo o ácido sulfúrico o mais comum. O mecanismo da hidrólise ácida consiste primeiramente na protonação do oxigênio carbonílico, seguido de um ataque nucleofílico à carbonila pela água presente, e posterior rompimento da ligação C-O. Em seguida ocorre desprotonação e reconstituição da carbonila, e a protonação do alcóxido liberado (PASZUN, D.; SPYCHAJ, T., 1997).

A hidrólise básica do PET, geralmente ocorre em soluções aquosas de hidróxido de sódio de concentração entre 4 – 20 % massa, podendo ainda usar aminas com constante de dissociação superior a  $10^{-5}$ , como catalisadores da reação (BENTES, V.L.I., 2008).

A reação de hidrólise em meio alcalino consiste no mecanismo descrito por um ataque nucleofílico da hidroxila, fornecida pela base, à carbonila seguido de reestruturação da ligação C=O e conseqüentemente, a cisão da ligação CO do éster, liberando o alcóoxido, que por sua vez remove um hidrogênio da água ou do próprio ácido liberado, formando um álcool e um carboxilato. Os produtos finais obtidos da hidrólise básica de PET são o EG e tereftalato de sódio, respectivamente (ROSMANINHO, 2005 e ASSIS, 2004).

- Hidrólise Alcalina

O processo da hidrólise alcalina utiliza normalmente hidróxido de sódio (4 – 20% em massa), podendo utilizar aminas como catalisador. Dura de 3 a 5h de reação em temperaturas entre 210 – 250°C e pressões entre 1,4 – 2MPa (PASZUN e SPYCHAJ, 1997).

O documento PI0400074-9, Filho, R. C. A.; Soares, K. (2005), revela "Processo de regeneração do ácido tereftálico (TPA) a partir da reação de despolimerização do poli (tereftalato de etileno) (PET) reciclado via hidrólise alcalina em meio de etilenoglicol (EG) puro". Nele descreve-se um processo químico de regeneração do ácido tereftálico (TPA) a partir da reação de despolimerização do poli (tereftalato de etileno) (PET) reciclado via hidrólise alcalina em meio de etilenoglicol (EG) puro que, de acordo com as suas características gerais, possui como princípio básico à formação de um processo próprio e específico para obtenção de ácido tereftálico (TPA) diretamente a partir da reação de hidrólise alcalina do poli (tereftalato de etileno) PET em meio etilenoglicol (EG) puro, à pressão atmosférica, nas temperaturas máximas atingidas por cada mistura.

O pedido PI0402976-3, Rubira, F. A.; Muniz, C. E.; Castro. (2005), "Processo de reciclagem de embalagens PET pós-consumo através de despolimerização utilizando condições supercríticas e dispositivo para efetuar o processo". Particularmente um processo de reciclagem química do polímero poli tereftalato de etileno (PET), onde a reciclagem química, também conhecida como recuperação de resinas, compreende a despolimerização dos polímeros, a recuperação e a purificação dos monômeros originais, podendo com isso ser novamente polimerizados para a fabricação de novas embalagens plásticas primárias, bem como de outros materiais. A invenção aqui proposta apresenta uma metodologia e sistema simples (utiliza apenas um balão volumétrico de duas bocas em uma chapa aquecedora e sistema de refluxo), rápidos (2h de reação), eficientes (85% de rendimento para garrafas PET

incolores e verdes), sem necessidade de montar um sistema operacional complexo e específico para a manutenção da reação.

Na patente EP1437377, Vanini, G. Filho, E. A. S. 2014 apresenta um método para reciclagem de garrafas PET compreendendo 18 etapas, incluindo despolimerização, polimerização, policondensação e repolimerização. É apresentado um método para a obtenção de um polímero de resina de garrafa PET a partir de resíduos contendo politereftalato de etileno (PET) como o componente principal. Os pedaços de PET são dissolvidos em éster tereftalato de dimetileno (DMT) e através de reações químicas do DMT recuperado, obtêm o ácido tereftálico (TPA). Contudo essa metodologia requer 18 etapas, o que aumenta o tempo de operação quando comparado com a nova patente proposta que necessita apenas de 4 etapas [I) mistura de PET/NaOH/CTAB em aquecimento e agitação; II) precipitação do TPA com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; III) resfriamento e IV) secagem] para obtenção do TPA. Outro fator é que quanto maior o número de etapas em um processo químico, maior a probabilidade de perdas do produto (rendimento). Assim, a nova patente proposta mostra-se mais eficiente com relação ao custo/benefício, por apresentar um número menor de etapas e um sistema de operação simples (utiliza apenas um balão volumétrico de duas bocas em uma chapa aquecedora e sistema de refluxo) e rápido (2h de reação), com um rendimento de 85% para garrafas PET incolores e verdes. Desta forma, a modalidade da invenção descrita neste documento apresenta vantagens consideráveis frente ao estado da técnica.

A principal vantagem da técnica proposta na presente modalidade de invenção, frente ao estado da técnica, está na utilização do CTAB como catalisador das reações químicas de despolimerização do PET. Desta forma, o presente documento propõe um novo processo de reciclagem química do PET em meio alcalino (reação de hidrólise) usando um tensoativo catiônico brometo de hexadeciltrimetilamônio, CTAB, para recuperação do ácido tereftálico (TPA) de forma rápida e eficiente, reduzindo assim, o custo reacional.

Segundo (Fonseca, Talitha Granja et.al, 2014) foram investigados certos parâmetros que influenciam a reação de despolimerização do PET pós-consumo via hidrólise alcalina, a fim de obter o AT. Os ensaios foram realizados à temperatura de 70 °C, variando a concentração da solução de hidróxido de sódio e o tempo de reação. Os melhores resultados foram obtidos para concentração de NaOH 10,82 mol L<sup>-1</sup> e tempo de reação de 9 h. Conseqüentemente, foi possível comprovar a viabilidade do processo, uma vez que as análises

por infravermelho e Ressonância Magnética Nuclear confirmaram a obtenção do PTA em todas as reações realizadas.

Desta forma, foi possível comprovar a viabilidade da reciclagem química do poli (tereftalato de etileno) a uma temperatura inferior a 100 °C. A concentração da solução de NaOH e o tempo de reação foram analisados quanto a suas influências na reação. Observou-se que o rendimento depende diretamente desses parâmetros. Portanto, o melhor resultado, 92,37%, foi obtido utilizando a maior concentração de NaOH (10,82 M) e maior tempo de reação (9 h) na temperatura de 70 °C.

Segundo ( C. M. Mählmann et. al , 2012) Neste trabalho foram utilizadas duas técnica para a da dissolução em glicose e a hidrolise sendo assim, possível afirmar que a reciclagem do PET é uma alternativa viável para minimizar o impacto ambiental causado pela contaminação em lixões, aterros sanitários ou rios, tendo em vista que das técnicas utilizadas analisou –se que através da glicólise do PET, a pressão atmosférica, verificou-se que é possível a obtenção de BHET, com altos rendimentos em tempos relativamente curtos, para o dietileno glicol. Na reação de hidrólise constatou-se que é possível obter ácido tereftálico, apresentando forte dependência no tempo de reação (no mínimo de 6h para altos rendimentos) e na metodologia de purificação.

De acordo com(Zanin. Maria , 2002) despolimerização de poli (tereftalato de etileno) – PET - em água pura e em soluções aquosas 7,5M de ácido acético, ácido sulfúrico, acetato de sódio e hidróxido de sódio foi testada a 100°C e pressão atmosférica, com o objetivo de obter ácido tereftálico. Foram ainda quantificadas diferenças relativas à influência do tamanho de partícula na velocidade da reação. Água pura e soluções de ácido acético e acetato de sódio praticamente não degradaram o PET em cinco dias de reação, enquanto a solução de ácido sulfúrico permitiu 80% de despolimerização no período. A reação com solução de hidróxido de sódio foi considerada a melhor, pois despolimerizou 95% do PET de granulometria maior (entre 2mm e 1,199mm) em 7 horas e 98% do PET de granulometria menor (inferior a 1,19mm) em 5 horas. Desta última reação o ácido tereftálico foi obtido, purificado e submetido a ensaios de caracterização, cujos resultados foram semelhantes aos do ácido tereftálico petroquímico (pureza superior a 99%).

### 3 RESULTADOS E DISCURSÕES

Tendo em vista, a análise das patentes e artigos evidenciou –se que na hidrólise alcalina, o agente despolimerizante mais utilizado é o hidróxido de sódio com concentração que varia de 7,5M a 10M, com uma duração média de tempo de 6h utilizando-se uma temperatura que varia de 70°C a 200°C com um rendimento que varia de 85% a 90%. Observou-se também que, com o EG como catalizador a duração da reação diminuiu consideravelmente. Com isso pode – se, observar alguns destes dados nas referentes patentes e artigos que segue no texto a seguir.

Segundo o documento PI0400074-9, Filho, R. C. A.; Soares, K. (2005), descreve que a partir da hidrólise alcalina obtém – se o ácido tereftálico e o etileno glicol matéria prima do PET, evidenciando – se a sua regeneração.

O pedido PI0402976-3, Rubira, F. A.; Muniz, C. E.; Castro. (2005), apresenta uma metodologia e sistema simples (utiliza apenas um balão volumétrico de duas bocas em uma chapa aquecedora e sistema de refluxo), rápidos (2h de reação), eficientes (85% de rendimento para garrafas PET incolores e verdes), sem necessidade de montar um sistema operacional complexo e específico para a manutenção da reação.

Segundo (Fonseca, Talitha Granja et.al , 2014), Os ensaios foram realizados à temperatura de 70 °C, variando a concentração da solução de hidróxido de sódio e o tempo de reação. Os melhores resultados foram obtidos para concentração de NaOH 10,82 mol L<sup>-1</sup> e tempo de reação de 9 h.

Segundo ( C. M. Mählmann et. al , 2012) Na reação de hidrólise constatou-se que é possível obter ácido tereftálico, apresentando forte dependência no tempo de reação (no mínimo de 6h para altos rendimentos) e na metodologia de purificação.

De acordo com(Zanin. Maria , 2002) despolimerização de poli (tereftalato de etileno) – PET - em água pura e em soluções aquosas 7,5M de hidróxido de sódio foi testada a 100°C e pressão atmosférica, com o objetivo de obter ácido tereftálico. A reação com solução de hidróxido de sódio despolimerizou 95% do PET.

Desta forma, pode – se relatar que a hidrólise alcalina é um meio de reciclagem química, de grande eficiência, obtendo-se os produtos iniciais do PET com grande grau de pureza, e eficiência quando comparado os produtos comerciais.

## 4 METODOLOGIA

Na elaboração deste trabalho, adotou-se com estratégia metodológica a revisão bibliográfica na qual buscou com referência, patentes, artigos científicos, livros e pesquisa na internet na quais aborda a despolimerização do PET.

Nesse sentido o presente trabalho tomou como critérios, textos que referenciassem a reciclagem química do politereftalato de etileno e a importância da mesma para o meio ambiente.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho evidenciou técnica de despolimerização de PET para obtenção do ácido tereftálico, realizando um estudo nas principais patentes e artigos científicos publicados. Evidenciando uma área extremamente promissora que toma um âmbito considerável na área acadêmica, buscando tornar mais abrangente o uso da reciclagem do PET no meio social.

Foi possível observar metodologias de grande relevância no que se refere a obtenção do ácido tereftálico, além de evidenciar inovações tecnológicas no âmbito da reciclagem química.

Também, foi verificado que a técnica de despolimerização traz grandes benefícios com a redução do acúmulo de PET no meio ambiente e a consequente diminuição do impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS

ABIPET - <http://www.abipet.org.br/index.html> (acessado em 13/09/2017)

ABIPET, Associação Brasileira da Indústria PET. 2016.

ABIPET, Associação Brasileira da Indústria PET. 2010.

ABIPET, Associação Brasileira da Indústria PET. 2012.

ABIPET, Associação Brasileira da Indústria PET. 2018.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2016.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2010.

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.

AL-SALEM, S.M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J.; Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW) – A Review. *Waste Management*, v.29, p.2625-2643. (2009).

BENTES, V.L.I.; Hidrólise básica de resíduos poliméricos de PET pós consumo e degradação catalítica dos monômeros de partida. 2008. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas 2008.

CANEVAVOLO, JR., SV. Ciência dos polímeros 1ed.São Paulo,SP.: Artleber Editora 2002.

GOODSHIP, V. Introduction to plastics recycling. Smithers Rapra, 2007.



LORENZETTI, C.; MANARESI, P.; BERTI, C.; BARBIROLI, G.; Chemical recovery of useful chemicals from polyester (PET). Waste for resource conservation: A survey of state of the art. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 14, n. 1, p. 98-101, 2006.

MANO, Eloisa B.; DIAS, Marcos L; OLIVEIRA, Clara M. F.; Química Experimental de Polímeros, 1ª edição, Editora Edgard Blucher. (2004)

MANO, E. B.; MENDES, L. C.; Introdução a Polímeros, 2ª ed., Ed. Edgard Blücher Ltda.: São Paulo, 1999.

MORRISON, Robert T.; BOYD, Robert N.; Química Orgânica. Décima Edição. Fundação Calouste Gulbenkian.(1993)

C. M. Mählmann, A. L. Rodríguez, S. F. Da Rosa, C. Dalpisol . Poli(tereftalato de etileno) – PET – Estudo de Reciclagem Química por Glicólise e Hidrólise 2012

PRISCILA S. CURTI; ADHEMAR RUVOLO F, "Processo de regeneração do ácido tereftálico (TPA) a partir da reação de despolimerização do politereftalato de etileno (PET) reciclado via hidrólise alcalina em meio de etilenoglicol (EG) puro".Patente n, PI0400074-9.

PIVA, A. M.; WIEBECK, H.; Reciclagem do plástico: Como fazer da reciclagem um negócio lucrativo, 1ª ed., Editora-Artliber Ltda.: São Paulo, 2004, 111 p.

PASZUN, D., SPYCHAJ, T. (1997) Chemical Recycling of Poly(ethylene terephthalate), *Industrial and Engineering Chemistry Research*. Vol.36, 1373-1383.

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

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A.; Tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova*, v. 28, p. 65-72, 2005

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C.B.; Química Orgânica 2, 7ª Edição, Editora LTC. 2000.

RUBIRA, F. A.; MUNIZ, C. E.; CASTRO, N. E.; Processo de reciclagem de embalagens PET pós-consumo através de despolimerização utilizando condições supercríticas e dispositivo para efetuar o processo. PI 0402976-3, 2005

VANINI, G. FILHO, E. A. S.; Processo de obtenção de ácido tereftálico por meio de reciclagem química de pet. 2014.

ZANIN. MARIA. ; Influência de Meios Reacionais na Hidrólise de PET Pós-Consumo, 2002.

