

# Estudo e Monitoramento Tecnológico da Despolimerização do PET

## *Study and Technological Monitoring of Pet Depolymerization*

Caio Cefas da Nóbrega Souza<sup>1</sup>

Edilânia Silva do Carmo<sup>1</sup>

Juliana Araújo Marques França<sup>1</sup>

José Nilton Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

### Resumo

Este artigo trata do estudo e monitoramento tecnológico sobre a despolimerização do Poli tereftalato de etileno (PET), usando patentes como fontes de informações. O levantamento das informações foi realizado utilizando a *plataforma Questel Orbit®*, aplicando como entrada as palavras-chave para as buscas “despolimerização”, “Politereftalato de etileno”, “PET”, “Poly (ethylene terephthalate)” e “depolymerization”. Foram realizadas análises “macro”, “meso” e “micro”, com o objetivo de levantar as principais características tecnológicas relacionadas ao campo de pesquisa. Os principais processos para despolimerização do PET estão a hidrólise, a glicólise, a aminólise, a amonólise e a metanólise. Tais tecnologias constituem a reciclagem terciária ou reciclagem química do PET.

Palavras-chave: PET. Despolimerização. Politereftalato de etileno.

### Abstract

This paper addresses a survey of PET depolymerization data using patents as sources of information. In order to collect the information, the Orbit® platform was used, applying the keywords “depolymerization”, “Polyethylene terephthalate”, “PET”, “Poly (ethylene terephthalate)” and “depolymerization” as key words. The macro, meso and micro bases were gathered as the main technological features related to the field of research. The main processes for depolymerization of PET are hydrolysis, glycolysis, aminolysis, ammonolysis and methanolysis. Such technologies constitute the tertiary recycling or chemical recycling of PET.

Keywords: PET. Depolymerization. Poly (ethylene terephthalate).

## 1 Introdução

Os polímeros são macromoléculas unidas por meio de ligações covalentes, podendo ser classificados em homopolímeros ou copolímeros (DE PAOLI, 2008). Os homopolímeros são aqueles formados por uma única unidade repetitiva e os copolímeros são aqueles que possuem mais de uma.

Ainda com relação aos polímeros, estes podem ser classificados também como termoplásticos, termorrígidos, plásticos de engenharia e elastômeros, sendo que os termoplásticos são



aqueles que podem ser moldados por meio do aquecimento e os termorrígidos não retornam à sua forma original, pois assumem estrutura tridimensional, reticulada com ligações cruzadas (DE PAOLI, 2008). Em relação ao comportamento mecânico, os polímeros se dividem em: elastômeros, plásticos e fibras. Eles também podem ser naturais ou sintéticos, sendo que os sintéticos são aqueles produzidos quimicamente.

O Poli tereftalato de etileno (PET) é um polímero condensado formado por etileno glicol e ácido tereftálico. Começou a ser utilizado no Brasil na década de 1970, e por ser muito versátil logo passou a ser utilizado em infinitas aplicações, dentre elas, na fabricação de embalagens plásticas devido à sua resistência (ABIPET, 2016). Segundo Rosu, Shanks e Bhattacharya (1996), Romão *et al.* (2009), Garcia (2007) e Odian (2004), o PET apresenta inúmeras vantagens em relação aos demais termoplásticos, fazendo com que seja muito mais utilizado deles, dentre as vantagens estão: excelente estabilidade térmica, facilidade de processamento, alta resistência química, alta estabilidade hidrolítica, propriedades mecânicas atrativas e altas temperaturas, propriedades de barreiras e gases, leveza, aparência nobre e baixo custo de produção.

Por se tratar de um polímero muito versátil, o PET na maioria das vezes acaba sendo descartado no meio ambiente, demorando anos para se decompor. Baseado nisso, existem vários estudos relacionados à reciclagem química do PET e sua despolimerização, que visa a degradar o polímero, e dessa forma obter o ácido tereftálico e o etileno glicol (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Segundo Spinacé e De Paoli (2005), a reciclagem do PET é algo de interesse mundial; visando a reduzir o descarte dos polímeros é conveniente que estes sejam utilizados em aplicações de longa vida útil, como pavimentação, madeira plástica, tintas, eletrônicas etc.

Nesse sentido, a pesquisa e levantamento de patentes possibilita geração de dados e informações embasado no estado da técnica das tecnologias relacionadas à despolimerização do PET. A partir disto e do estado da arte disponível é possível uma visualização da relevância da utilização da despolimerização do PET, assim como as tecnologias já existentes, as tendências para surgimento de novas tecnologias, as aplicações das mesmas, concorrências de mercado, dentre outros fatores.

As resinas termoplásticas, como é o caso do PET, podem ser integralmente reciclados e três processos podem ser utilizados: a reciclagem química, a reciclagem energética e a mecânica. 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; PYCHAJ, 1997).

De acordo a Associação Brasileira da Indústria do PET (2018), por meio do censo 2015, pode-se perceber que houve uma queda na evolução da reciclagem do PET em 2015 quando comparado aos anos 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.

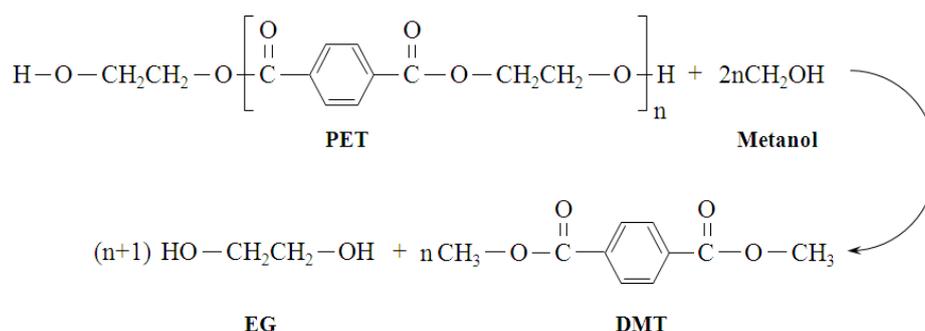
De acordo com Spinacé e De Paoli (2005), nos EUA e em outros alguns países é permitida a utilização do PET reciclado para a confecção de embalagens monocamadas que têm contato direto com o alimento. Para este fim foi desenvolvida a tecnologia *bottle-to-bottle*, que envolve etapas de lavagens, descontaminação, cristalização, pós-condensação no estado sólido e extrusão do PET.

De acordo com Silva (2012), o processo de despolimerização do PET foi implementado aproximadamente em paralelo com a manufatura do polímero em escala comercial. Isso 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.

De acordo com De Paoli (2008), a despolimerização ocorre em polímeros com substituintes em um dos carbonos das unidades monoméricas repetitivas. É o processo de degradação que gera como produto o monômero que deu origem ao polímero específico que está degradando, podendo também ser classificada como reverso do processo de despolimerização.

Dentre as formas de reciclagem química do PET, destacam-se os processos de despolimerização: metanólise, glicólise, aminólise, hidrólise, hidrólise ácida e hidrólise básica. Na metanólise ocorre a despolimerização do PET por sólvolise, na qual o agente despolimerizante é o metanol e os produtos obtidos na metanólise total são o EG e o DMT como mostrado na Figura 1 (LORENZETTI *et al.*, 2006; ASSIS, 2004; PASZUN; SPYCHAJ, 1997; ROSU; SHANKS; BHATTACHARYA, 1997).

**Figura 1** – Mecanismo de reação de metanólise do PET



Fonte: Assis (2004)

No processo de metanólise, o melhor rendimento da reação obtido foi de 90% massa de DMT e EG, tendo como subproduto remanescente o metil(hidroxi)etil)tereftalato (MHET) solúvel, que dependendo dos parâmetros da reação pode variar entre 11–22 % (PASZUN; SPYCHAJ, 1997). Outros produtos secundários derivados do EG, como o bis(hidroxi)etil)tereftalato (BHET), são formados em maior quantidade (80%) e em menor quantidade, são formados também outros oligômeros, de maneira que a mistura de resíduos forma um líquido oleoso que representa certo risco ao meio ambiente.

De acordo com Paszun e Szychaj (1997), a glicólise é classificada como o segundo método mais importante de reciclagem química do PET. Esse 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 2. Entretanto, quando a glicólise é parcial, são produzidos oligômeros que são utilizados na preparação de resinas poliésteres insaturadas, resinas alquídicas e poliuretanas.



Com o desenvolvimento das técnicas de síntese do PET a partir do AT e EG, esse processo tem despertado grande interesse, visto sua simplicidade e eficiência. Muitas pesquisas têm sido realizadas para investigar e aperfeiçoar os processos de reciclagem química por meio de reações de hidrólise. Esses processos hidrolíticos podem ser conduzidos em diferentes meios reacionais comumente conhecidos como: hidrólise ácida, hidrólise básica e hidrólise neutra.

A hidrólise ácida é frequentemente realizada utilizando o ácido sulfúrico concentrado, porém outros ácidos também podem ser usados nessa reação, tal como o ácido nítrico ou ácido fosfórico. O mecanismo da hidrólise ácida consiste na protonação do oxigênio carbonílico, seguido de um ataque nucleofílico pela água à carbonila do éster, de forma a promover o rompimento da ligação e posterior remoção do próton pelo íon alcóoxido reconstituindo a carbonila e formando os novos produtos da reação.

As reações de hidrólise ácida são processadas sob diferentes condições, podendo variar a temperatura, a pressão, a concentração do ácido e o tempo de reação. Segundo Lorenzetti *et al.* (2006), a despolimerização total do PET ocorre a temperatura ambiente, utilizando o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado em um período de 30 minutos. E de acordo com pesquisa realizada por Rosmaninho (2005), o aquecimento do ácido sulfúrico 87% entre 85–90°C reduz o tempo de despolimerização, alcançando o tempo de 5 min.

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 (KHALAF; HASAN, 2012).

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 o tereftalato de sódio, respectivamente (ROSMANINHO, 2005; ASSIS, 2004).

O objetivo deste estudo foi realizar a prospecção tecnológica acerca da despolimerização do PET por meio do levantamento do estado da técnica, partindo-se da aplicação sistemática do monitoramento de patentes para verificação do desenvolvimento tecnológico utilizando a plataforma Questel Orbit®.

## 2 Metodologia

O método de monitoramento tecnológico realizado neste estudo utiliza informações oriundas dos documentos de patentes, utilizando como principal ferramenta de busca a plataforma Questel Orbit®. O sistema Orbit® engloba bases de patentes de 96 países, 21 deles disponibilizam textos integrais e outros 40 com disponibilização de PDF's. Já as buscas de desenhos industriais são realizadas em bases de 14 países. Dentre os principais escritórios de patentes utilizados como banco de dados pela ferramenta pode-se destacar: USPTO, Espacenet, SIPO, KIPO, JPO, entre outros.

A metodologia de pesquisa foi empregada com o objetivo de mapear patentes no contexto da reciclagem terciária ou reciclagem química do PET a partir do método de despolimerização. As buscas foram realizadas empregando palavras-chave e/ou classificação internacional

de patentes (*International Patent Classification – IPC*) como entrada para a ferramenta Questel Orbit®. Inicialmente, buscou-se como palavras-chave: “despolimerização”, “politereftalato de etileno”, “PET”, “*Poly (ethylene therephthalate)*” e “*depolymerization*”, nos campos título, resumo e reivindicações, de forma a obter o maior número possível de documentos de 2000 a 2018. Foram encontrados 327 documentos de patentes a partir dos termos de busca. A análise dos documentos de patentes foi realizada com o intuito de extrair informações em três níveis diferentes: Macro, Meso e Micro.

A análise no nível Macro consiste em extrair as informações dos documentos de acordo com a série histórica de depósitos/publicações, a distribuição por países, por universidades, centros de pesquisa e empresas ligadas ao conhecimento científico e desenvolvimento da tecnologia, parcerias (internacionais e com empresas).

Na análise nível Meso, os documentos são categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno do tema estudado, considerando a seguinte taxonomia:

- a) Processos e tecnologia: quando são identificados nos documentos etapas e tecnologias relacionadas ao tema;
- b) Matéria-prima: com a identificação das principais matérias-primas utilizadas no desenvolvimento da tecnologia estudada.
- c) Equipamento: com identificação dos principais equipamentos utilizados para desenvolvimento da tecnologia estudada.
- d) Análise de caracterização: com a identificação do interesse dos pesquisadores na caracterização do produto, avaliação de rendimentos e custos econômicos.

Por fim, tem-se a análise nível Micro na qual são identificadas as particularidades e detalhes de cada taxonomia da análise Meso. É importante ressaltar que um mesmo documento pode estar incluído em mais de uma taxonomia.

## 3 Resultados e Discussão

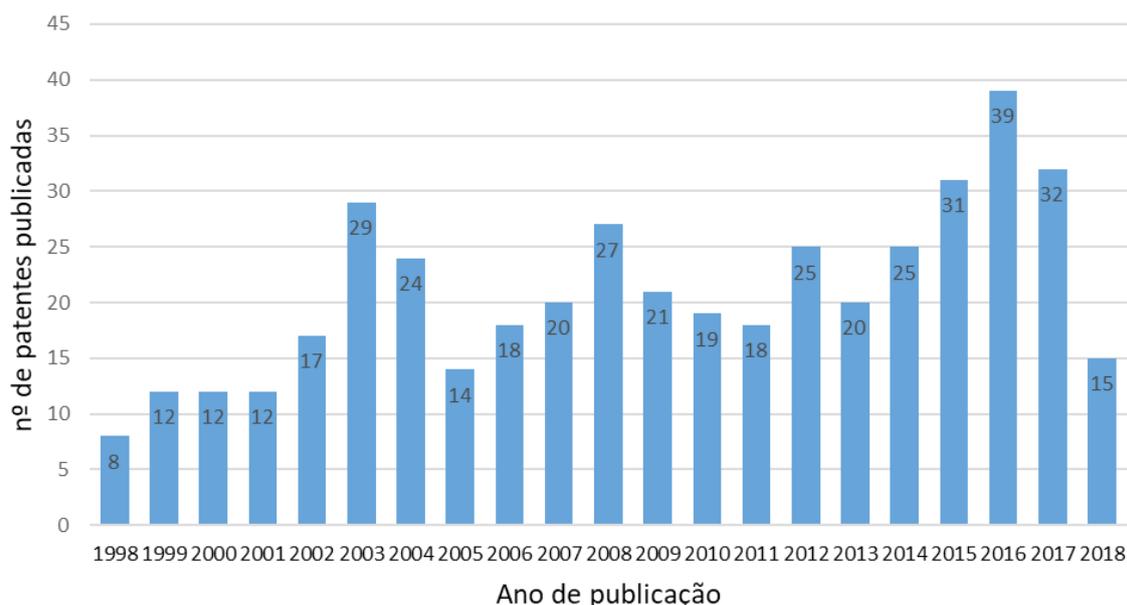
Utilizando-se o *software* Questel Orbit® foi realizada a busca e, em seguida, a leitura dos documentos de patentes relacionados à tecnologia de despolimerização do PET. As informações extraídas foram organizadas nos três níveis de análise mencionados anteriormente.

### 3.1 Análise Macro

#### 3.1.1 Distribuição de Patentes

A primeira análise está relacionada à evolução da produção tecnológica relacionada à despolimerização do PET em número de patentes por ano. Tal evolução está representada na Figura 5. É possível observar que nos anos de 2003, 2008, 2015, 2016 e 2017 houve publicação de uma quantidade significativa de documentos relacionados ao tema de despolimerização do PET, com destaque para o ano de 2016 quando 39 pedidos de patente foram publicados. Esse aumento pode estar relacionado principalmente ao aumento na demanda do PET reciclado no setor têxtil, automotivo (carpetes e estofados) e de embalagens (ABIPET, 2016).

**Figura 5** – Número de patentes por ano de publicação



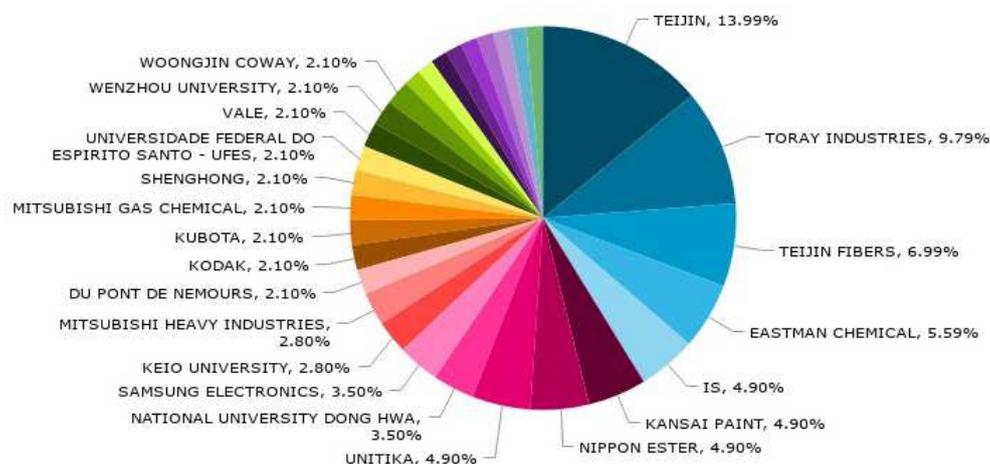
Fonte: Questel Orbit® (2018)

### 3.1.2 Distribuição de patentes por instituição

Na Figura 6, pode-se observar os resultados relacionados às instituições que desenvolvem tecnologias relacionadas à despolimerização do PET. Em relação às empresas citadas destacam-se a Teijin Limited®, Toray Industries®, Teijin Fibers® e a Eastman Chemical® que juntas publicaram 52 patentes, o que corresponde a 35% de todas as patentes relacionadas ao tema no período.

Em relação às universidades, destacam-se a Universidade de Wenzhou, na China, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no Brasil, a Universidade Nacional Dong Hwa de Taiwan e a Universidade Keio em Tóquio com 3, 3, 4 e 5 patentes publicadas respectivamente (10,5% do total de patentes publicadas no período).

**Figura 6** – Número de patentes publicadas por instituição

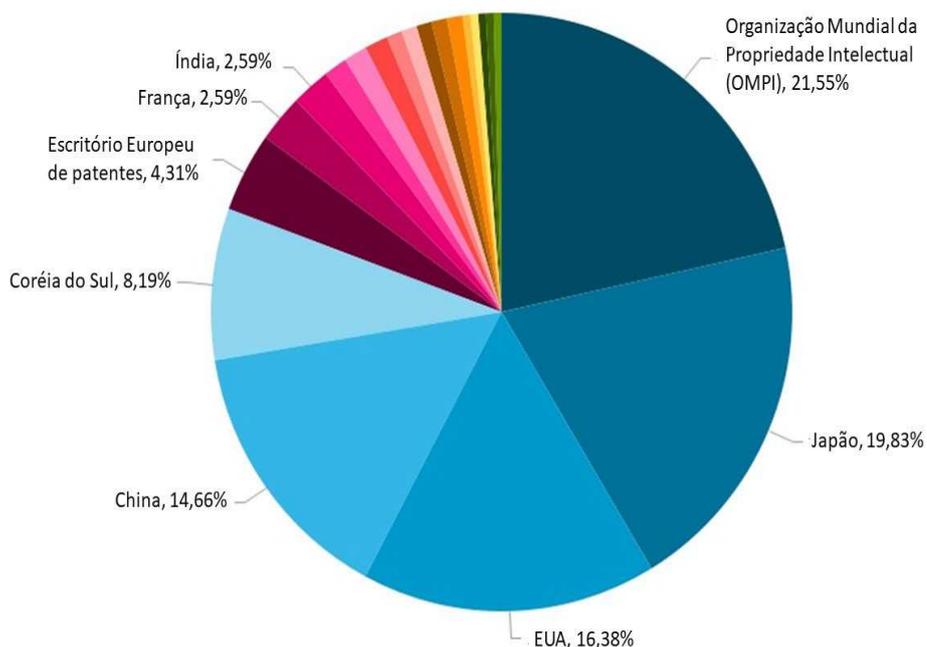


Fonte: Questel Orbit® (2018)

### 3.1.3 Distribuição de Patentes por Países de Publicação

Em relação aos países de origem das instituições, destacam-se o Japão, os Estados Unidos, a China e Coréia do Sul com 59,06% do total de número de patentes. Na Figura 7, é possível observar uma concentração maior do desenvolvimento acerca da despolimerização do PET nos países desenvolvidos sendo a China, Índia e Coréia do Sul exceção a essa regra. Tal interesse é motivado por questões ambientais, por meio da reutilização de um insumo não bio-degradável e produzido em larga escala e questões econômicas, sendo o PET a matéria-prima demandada pelo setor têxtil, automotivo e de embalagens.

**Figura 7** – Distribuição do número de patentes por país de origem

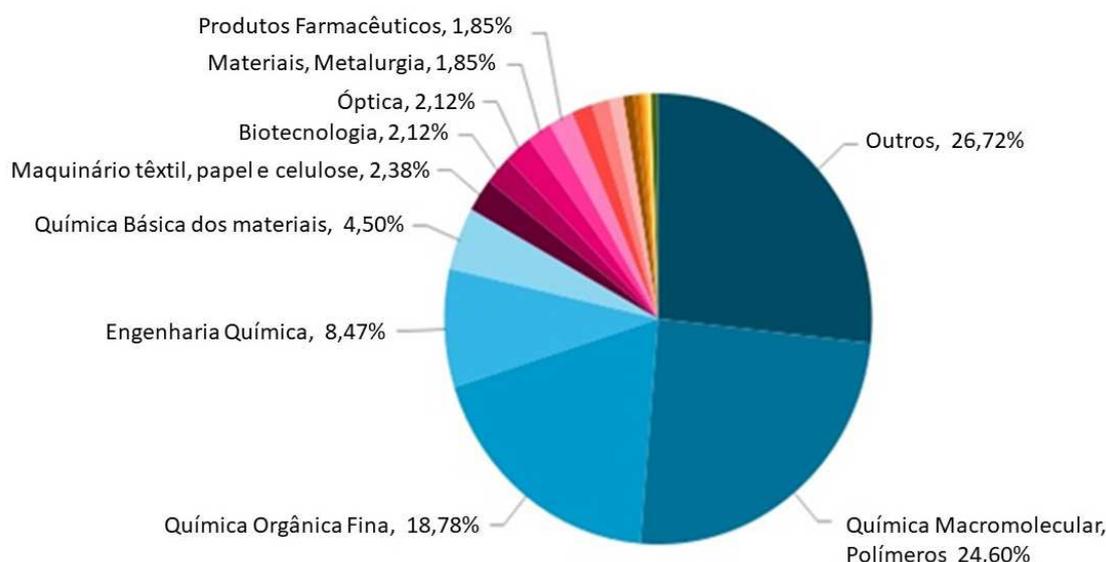


Fonte: Questel Orbit® (2018)

## 3.2 Análise Meso

Dentre os principais processos para despolimerização do PET estão a hidrólise, a glicólise, a aminólise, a amonólise e a metanólise. Todos eles constituem a reciclagem terciária ou reciclagem química do PET, que por sua vez, é fundamentada na reversibilidade da reação de polimerização (RUVOLO FILHO *et al.*, 2008).

Segundo os dados obtidos com a busca aplicada, os domínios tecnológicos predominantes relacionados à prospecção tecnológica desse tema estão apresentados na Figura 8.

**Figura 8** – Distribuição do número de patentes por domínio tecnológico

Fonte: Questel Orbit®

Na figura estão em destaque os domínios tecnológicos, Química Macromolecular (Polímeros), Química Orgânica Fina, Engenharia Química e Química Básica dos Materiais. Juntos correspondem a 56,35% do total de patentes encontradas.

### 3.3 Análise Micro

A principal aplicação mencionada relacionada à despolimerização do PET é o reaproveitamento da matéria-prima utilizada na sua produção. Dentre os documentos de patentes analisados foram identificadas, predominantemente, três diferentes tecnologias relacionadas à despolimerização do PET, são elas: hidrólise, metanólise e glicólise.

A hidrólise consiste em uma reação de desesterificação, utilizando a água como agente despolimerizante e tem como produtos o ácido tereftálico e o etileno glicol. A metanólise consiste em uma reação de solvólise, na qual o agente despolimerizante é o metanol e os produtos obtidos são o etileno glicol e dimetiltereftalato. Por sua vez, a glicólise consiste na despolimerização do PET, utilizando o próprio etileno glicol como agente despolimerizante, levando à formação de outros diésteres. Quando ocorre em sua totalidade, a glicólise produz BHET (Bis-2-hidroxi-etil-tereftalato) (BENTES, 2008).

Na literatura de patentes, pode-se destacar a patente CN107362811 que apresenta um catalisador com alto rendimento para reação de despolimerização em meio ácido. O mesmo também é de fácil separação e recuperação, podendo ser reutilizado e possibilitando a redução de custos.

A patente CN101066905 apresenta um processo ecoeficiente para despolimerização catalítica do PET sob irradiação micro-ondas. Tal processo é realizado via hidrólise ácida do poliglicol tereftalato, gerando ácido tereftálico e glicol.

A patente EP2565226 refere-se a um processo econômico e ecológico para obtenção de polióis aromáticos de poliéster-éter via glicólise, úteis para formação de espumas rígidas de poliuretano, utilizando como matéria-prima, o resíduo de PET e derivados de biomassa.

## 4 Considerações Finais

A partir do estudo das patentes publicadas de 1998 a 2018, pode se obter o seguinte:

- a) Analisando os depósitos por ano, pode-se verificar um aumento do número de publicações relacionadas à despolimerização do PET, no período de 2015 a 2017.
- b) Em relação aos países, observa-se que Japão, EUA, China e Coréia do Sul aparecem em destaque no depósito de patentes.
- c) As empresas fabricantes do PET obtiveram maior parcela dos depósitos de patentes encontrados.
- d) Entre as tecnologias relacionadas à despolimerização do PET, as que mais se destacaram foram a hidrólise, a glicólise e a metanólise.
- e) As aplicações da despolimerização do PET estão em constante desenvolvimento, principalmente em relação à reciclagem dos produtos formados pelas reações químicas utilizadas.
- f) A principal matéria-prima utilizada para a despolimerização do PET foi o resíduo de PET sólido.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET (ABIPET). **Censo da reciclagem do PET no Brasil Associação Brasileira da Indústria PET**. 10. ed. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 7 jun. 2018.
- ASSIS, R. **Adesivos poliuretanos derivados de PET reciclado: síntese, caracterização e aplicação**. Campinas: [s.n.], 2004.
- AWAYA, F.; PAVEL, D. Recycling of PET. **European Polymer Journal**, [S.l.], v. 41, p. 1453–1477, 2005.
- BENTES, V. L. **Hidrólise básica de resíduos poliméricos de PET pós-consumo e degradação catalítica dos monômeros de partida**. Manaus: [s.n.], 2008.
- DE PAOLI, M. A. **Degradação e estabilização de polímeros**. 2. ed. (versão online). 2008.
- GARCIA, E. E. C. Você conhece o lado Químico do PET? **Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens**, São Paulo, v. 9, n. 4, p. 1–3, 2007.
- HONG, L. **Solid superacid catalyst for depolymerization of PET**. CN Pat. 107362811, 21 nov. 2017.
- KHALAF, H. I.; HASAN, O. A. Effect of quaternary ammonium salt as a phase transfer catalyst for the microwave depolymerization of polyethylene terephthalate waste bottles. **Chemical Engineering Journal**, [S.l.], p. 45–48, 2012.
- LI, Z. D. **Catalytic depolymerization of PET under microwave irradiation**. CN Pat. 101066905, 7 nov. 2007.

LORENZETTI, C. *et al.* **Chemical recovery of useful chemicals from polyester (PET)**. Waste for resource conservation: A survey of state of art. [S.l.: s.n.], 2006. p. 98–101.

MIRELA, D. M. *et al.* **Method of obtaining aromatic polyester-ether polyols from waste poly (ethylene terephthalate) (PET) and aromatic polyester-ether polyols incorporating poly (ethylene terephthalate) wastes and renewable materials, obtained by respective procedure**. EP Pat. 2565226, 6 mar. 2013.

ODIAN, G. **Principles of Polymerization**. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

PASZUN, D.; SPYCHAJ, T. Chemical Recycling of Poly (ethylene terephthalate). **Industrial and Engineering Chemistry Research**, [S.l.], 1997. p. 1373–1383.

QUESTEL ORBIT. **Orbit Intelligence**. Disponível em: <<https://www32.orbit.com/>>. Acesso em: jun. 2018.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. Poli (Tereftalato de Etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem, polímeros: **Ciência e Tecnologia**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 121–132, 2009.

ROSMANINHO, M. G. **Transformando dejetos de PET em materiais de importância tecnológica**. Belo Horizonte: [s.n.], 2005.

ROSU, F.; SHANKS, R. A.; BHATTACHARYA, S. N. Synthesis and Characterisation of Branched Poly (ethylene terephthalate). **Polymer International**, [S.l.], ed. 3, v. 42, p. 267–275. 1999.

RUVOLO, R.; CURTI, P. S. **Polímeros Ciência e Tecnologia**. São Paulo: [s.n.], 2006.

SILVA, C. T. **Avaliação de metodologia de obtenção do ácido tereftálico via reciclagem química do PET**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Química. Faculdade Federal do Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SPINACÉ, R. A.; PAOLI, D. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Revista Química Nova**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 65–72, 2005.

## Sobre os autores

### Caio Cefas da Nóbrega Souza

*E-mail:* caio.cefas@eq.ufcg.edu.br,

Mestre e graduado em Engenharia Química, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Endereço profissional: Universidade Federal de Campina Grande – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

### Edilânia Silva do Carmo

*E-mail:* Edilania.carmo@eq.ufcg.edu.br

Mestranda em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Endereço profissional: Universidade Federal de Campina Grande – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

**Juliana Araújo Marques França**

*E-mail:* jullymarques03@hotmail.com

Mestranda em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Endereço profissional: Universidade Federal de Campina Grande – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande, PB. CEP: 58429-900.

**José Nilton Silva**

*E-mail:* nilton@eq.ufcg.edu.br

Doutor e mestre em Engenharia Química, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), licenciado em Química, pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB); e bacharel em Engenharia Química, pela UFCG.

Endereço profissional: Universidade Federal de Campina Grande – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande, PB. CEP: 58429-900.