

ESTUDO PROSPECTIVO PARA O DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE POLÍMEROS AUTORREGENERATIVOS

Tarses do Nascimento Calleia – tarsesnc@poli.ufrj.br

School of Chemistry – Federal University of Rio de Janeiro

Nayara Couto Ezequiel de Araujo – nayara.couto@ufrj.br

School of Chemistry – Federal University of Rio de Janeiro

Estevão Freire – estevao@eq.ufrj.br

School of Chemistry – Federal University of Rio de Janeiro

Resumo — O presente artigo avalia o desenvolvimento e a aplicação de polímeros com capacidade de autorregeneração, uma classe de materiais cuja principal característica é a recuperação da integridade estrutural após a ocorrência de danos. Para este mapeamento tecnológico utilizou-se a base de dados Patent Inspiration® com limitação do intervalo temporal de busca entre 2014 e 2018. Durante a interpretação dos resultados, identificou-se correlações e delineou-se tendências levando em consideração a aplicabilidade diversificada de polímeros autorregenerativos em setores econômicos e os países detentores de documentos patentários concedidos e solicitados. Dessa forma, o estudo de futuro permite um desenvolvimento científico mais direcionado e estrategicamente planejado ao buscar uma compreensão mais apurada do tema.

Palavras-chave — Autorregeneração, Autorreparação, Documentos Patentários, Polímeros.

Abstract — This paper evaluates the development and application of self-healing polymers, a class of materials whose main characteristic is the recovery of structural integrity after damage. For this technological mapping, the Patent Inspiration® database was used with search time range limitation between 2014 and 2018. During the interpretation of the results, correlations were identified and trends were considered taking into account the diverse applicability of self-healing polymers in economic sectors and the countries that hold and apply for patent documents. Thus, future study allows for a more targeted and strategically planned scientific development by seeking a more accurate understanding of the subject.

Keywords — Patenting Documents, Polymers, Self-healing, Self-repairing.

1 INTRODUÇÃO

A deterioração e o desgaste de materiais com o tempo são causas de falhas que podem acarretar perdas econômicas e até mesmo perda de vidas humanas (ROHATGI; NOSONOVSKIĬ, 2012). Portanto, torna-se importante gerir a vida útil de dispositivos aplicados nos mais variados campos, principalmente aqueles encontrados em ambientes inacessíveis como fora da atmosfera terrestre, no fundo do mar ou em locais com condições físicas e químicas extremas que apresentem, dentre outros fatores, alta corrosividade, alta intensidade de irradiação, altas temperaturas e/ou radiação ionizante (AMENDOLA; MENEGHETTI, 2011).

O conceito de autorregeneração em materiais sintéticos foi proposto na década de 1980 (AÏSSA, 2014) como uma estratégia para contornar a degradação natural ou artificial em materiais cujo reparo ou substituição fosse economicamente desvantajoso, perigoso ou impossível. De forma recorrente, a autorregeneração pode ser considerada como uma vertente do biomimetismo, uma área da ciência que estuda a recriação de funções biológicas por aproximação (LI; MENG, 2015). Na biomimética, diferentes estratégias podem ser adotadas para que um material sintético apresente similaridade funcional a um determinado material biológico mais complexo e sofisticado.

O foco deste trabalho é a análise prospectiva de materiais poliméricos que exibem a capacidade de

autorregeneração e tendem a recuperar suas funcionalidades usando determinados mecanismos ou fontes de energia. *A priori*, as abordagens e estratégias de autorreparação, exploradas para polímeros, compósitos poliméricos e materiais correlatos, podem ser resumidas em duas categorias principais: a autorregeneração extrínseca, baseada no uso de agentes de recuperação dispersos na matriz polimérica, e a autorregeneração intrínseca, fundada no condicionamento da matriz polimérica para promoção do reparo (BLAISZIK *et al.*, 2010).

1.1 PROCESSOS DE AUTORREGENERAÇÃO

O armazenamento de um agente de reparação líquido em estruturas como microcápsulas, fibras ocas ou túbulos dispersos na matriz polimérica é a principal característica da autorregeneração extrínseca química. Nesta abordagem, a ocorrência de um dano é o gatilho para que estes reservatórios sejam rompidos, possibilitando a liberação dos agentes de reparação que, por processos de transporte de massa, alcançam o local danificado e recuperam o sítio ao promover interações ou religações entre as cadeias poliméricas rompidas (LI; MENG, 2015).

Entretanto, para o caso descrito acima, há chance de existir problemas de interação e compatibilidade entre o agente de reparação e seu reservatório. Além disso, a recuperação do material tende a ser restrita de acordo com o volume de agente de reparação estocado e, portanto, a multiplicidade de eventos de regeneração é limitada (GHOSH, 2009).

Na autorregeneração extrínseca física é possível a utilização de partículas termoplásticas sólidas dispersas na matriz polimérica. Após a ocorrência do dano, o termoplástico é amolecido fazendo com que ocorra o entrelaçamento entre as suas cadeias e a estrutura danificada por meio de migração molecular (BLAISZIK *et al.*, 2010).

Vale ressaltar que, para o aumento da mobilidade das cadeias aliado a um processo de restauração, é necessário que certa quantidade de energia seja concedida ao material, para que sua estrutura molecular possibilite a reparação do sítio danificado (GARCIA, 2014).

No modo intrínseco, a autorreparação é inerente ao material, podendo ser conduzida pela reversibilidade de mecanismos físicos de interação iônica ou supramolecular e por mecanismos químicos a partir da reestruturação de ligações covalentes que formam a estrutura do material danificado. Entretanto, a eficácia desse método é maior quanto menor for o volume de dano produzido, pois com uma maior proximidade das superfícies danificadas, maior é a facilidade para que religações e interações moleculares possam ser conduzidas (BLAISZIK *et al.*, 2010).

O efeito de memória de forma permite que um material em deformação transite de seu estado inicial para um estado temporário e retorne a sua forma original a partir da aplicação de estímulos externo (XIE, 2011). Portanto, como uma abordagem adicional, mecanismos de memória de forma podem ser incorporados durante a síntese de materiais autorregenerativos para que, após processos de deformação, uma forma estrutural similar à original seja adquirida, aumentando a probabilidade de obter uma recuperação satisfatória do material danificado.

2 METODOLOGIA

O processo de coleta e análise de dados utilizado neste trabalho foi realizado seguindo o procedimento apresentado na Figura 1. A opção por uma análise fracionada permite que os conceitos e as tecnologias que estruturaram o estudo fossem conduzidos de forma lógica, facilitando a criação de um mapa de conhecimento.



Fonte: Adaptado de BORSCHIVER, (2016)

2.1 PRÉ-PROSPECÇÃO

A fase preliminar de prospecção consistiu em uma investigação menos direcionada, de cunho mais geral, utilizada para acumular informações sobre o objeto de estudo. Para esta etapa foram utilizados mecanismos de mineração de dados de grande difusão no mercado, como os motores de busca Google Scholar[®] e Google Trends[®] desenvolvidos pela empresa Google[®]. Com tais ferramentas, foram identificadas como relevantes, as palavras-chave “SELF-HEALING” e “SELF-REPAIRING” vinculadas ao termo “POLYMER”. A pesquisa foi realizada entre 01 de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2018.

2.2 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA – BUSCA ORIENTADA

A análise de documentos de patentes é considerada como indicador relevante para avaliar a capacidade de transformar conhecimento científico em tecnologia. Segundo BORSCHIVER (2016), estudos de futuro são processos dinâmicos que servem para antever o comportamento tecnológico e auxiliar na tomada de decisões no presente. Portanto, o foco desta etapa foi a análise da dinâmica de difusão do conhecimento e as aplicações tecnológicas do objeto de estudo avaliando os resultados e alocando os documentos de patentes em períodos como mostra a TABELA 1.

TABELA 1
Tipos de dados analisados e alocação em horizontes temporais

DADOS ANALISADOS	ENTRADA DA TECNOLOGIA NO MERCADO
Patentes concedidas	Curto prazo (0 – 3 anos)
Patentes solicitadas	Médio prazo (4 – 7 anos)

Fonte: Elaborado pelos autores

Nesta etapa do trabalho foi realizada a análise quantitativa de documentos técnicos. A patentometria ou análise de patentes permite a interpretação do grau de desenvolvimento do tema e facilita a escolha de caminhos que poderão ser tomados no desenvolvimento de polímeros com capacidade de autorregeneração.

2.2.1 METODOLOGIA PARA BUSCA DE DOCUMENTOS PATENTÁRIOS

A base de dados de documentos de patentes Patent Inspiration[®] foi escolhida como fonte de dados para a pesquisa em curto e médio prazo por permitir verificações avançadas, utilizando combinação de filtros e operadores booleanos de forma organizada e simples. Para a utilização dessa base, um planejamento de pesquisa foi estruturado conforme ilustra a TABELA 2. O conjunto de duas palavras-chave, uma palavra específica de nível 1 e treze palavras específicas de nível 2 formam um total de 26 combinações que aumentam a abrangência da busca.

Para melhorar a sensibilidade da pesquisa utilizou-se expressões lógicas de concatenação (*and*, *or*, *not*). A estratégia de busca utilizada foi composta pela combinação das expressões apresentada a seguir:

- [SELF-HEALING *or* SELF-REPAIRING]
- *and* [POLYMER]
- *and* [THERMOSET *or* THERMOPLASTIC *or* ELASTOMER *or* RESIN *or* IONOMER *or* EPOXY *or* HYDROGEL *or* ENCAPSULATION *or* HOLLOW FIBER *or* NETWORK *or* VASCULAR *or* INTRINSIC *or* SHAPE MEMORY]

A busca foi direcionada para os documentos patentários concedidos que continham as palavras-chave em todos os campos e as palavras específicas no título ou no resumo, com data de concessão no período compreendido entre 01 de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2018. Para gerar uniformidade na pesquisa, o mesmo processo foi aplicado para a busca de patentes solicitadas que apresentavam data de publicação entre 01 de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2018.

É importante ressaltar que o operador *not* foi utilizado para excluir, por numeração, 24 documentos que não tangenciavam o foco deste trabalho. Ao proceder desta forma, foram selecionados da base Patent Inspiration[®] 124 documentos concedidos e 229 documentos solicitados para serem analisados.

TABELA 2
Palavras-chave e palavras específicas utilizadas na pesquisa

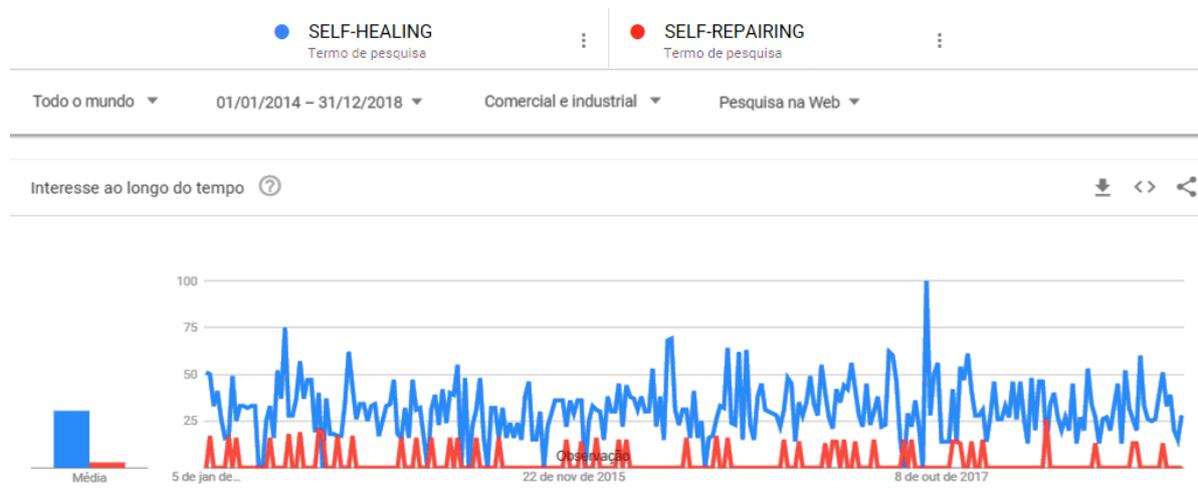
OU ↓	E →	PALAVRA ESPECÍFICA		
	PALAVRA-CHAVE	NÍVEL 1	NÍVEL 2	
SELF-HEALING	POLYMER	THERMOSET	MATERIAL	
		THERMOPLASTIC		
		ELASTOMER		
		RESIN		
		IONOMER		
		EPOXY		
SELF-REPAIRING	POLYMER	HYDROGEL	TECNOLOGIA	
		ENCAPSULATION		
		HOLLOW FIBER		
		NETWORK		
		VASCULAR		
		INTRINSIC		
		SHAPE MEMORY		

Fonte: Elaborado pelos autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ferramenta Google Trends® permitiu a visualização gráfica da tendência de pesquisa na *internet* usando as expressões “SELF-HEALING” e “SELF-REPAIRING” nas áreas comercial e industrial entre 01 de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2018, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2. Interesse ao longo do tempo pelos termos-chave analisados neste trabalho



Fonte: Dados obtidos no Google Trends®

Os resultados em números expressam o interesse de pesquisa relativo ao ponto mais alto no gráfico. Um valor de 100 representa o pico de popularidade de um termo; um valor de 50 significa que o termo teve metade da popularidade e uma pontuação de 0 significa que não havia dados suficientes sobre o termo. Evidencia-se, portanto, que a popularidade do termo “SELF-HEALING” é maior do que o “SELF-REPAIRING” na *web*.

Em consonância com os resultados obtidos no Google Trends®, o Google Scholar® mostrou que o total de publicações e citações atreladas a “SELF-HEALING POLYMER” foi aproximadamente oito vezes maior do que “SELF-REPAIRING POLYMER”, como mostra a TABELA 3. Esta análise prévia apenas confirmou que resultados relevantes para a presente pesquisa podem ser obtidos com o uso de “SELF-HEALING POLYMER” como insumo para buscas mais específicas sobre o tema.

Entretanto, não é descartado o uso da expressão “SELF-REPAIRING POLYMER” para pesquisas mais especializadas. O Google Scholar® mostrou que o uso da expressão “SELF-REPAIRING POLYMER” correspondeu a 11,45% dos resultados.

TABELA 3
Total de publicações entre 2014 e 2018

PESQUISA	RESULTADOS
“SELF-HEALING POLYMER”	37040
“SELF-REPAIRING POLYMER”	4790

Fonte: Dados obtidos no Google Scholar®

A confirmação da significância do objeto do estudo é mostrada na Figura 3 pelo aumento do número de documentos científicos e citações contendo os termos-chave pesquisados. Comparando os anos de 2014 e 2018, a expressão “SELF-HEALING POLYMER” alcançou um crescimento de 194% enquanto “SELF-REPAIRING POLYMER” aumentou 152%.

Figura 3. Resultado anual de publicações por termos-chave pesquisados



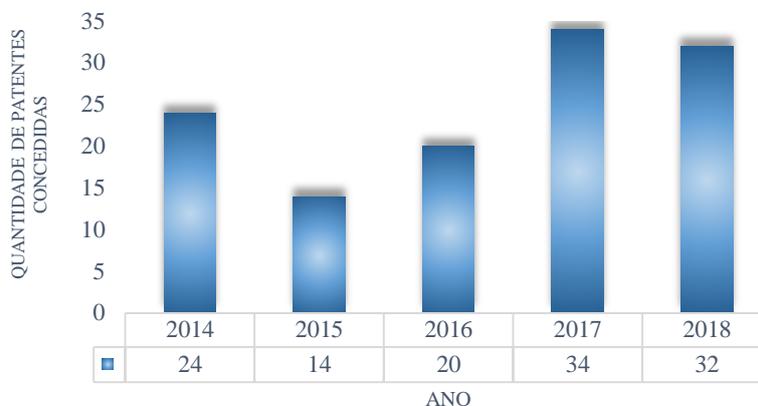
Fonte: Dados obtidos no Google Scholar®

3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS – ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Ao avaliar a quantidade de patentes concedidas nos últimos 4 anos, Figura 4, observou-se um crescimento no desenvolvimento de polímeros autorregenerativos, que pode ser explicada pelo avanço em pesquisa e desenvolvimento dos principais países detentores de patentes concedidas. Dentre os documentos

analisados, 44,0% pertencem aos Estados Unidos da América (US) e 32,0% são da República Popular da China (CN), seguidos pela Organização Europeia de Patentes (EPO) com 10,0% e da Coreia do Sul (KR) com 6,0%. A queda no número de concessões em 2015 deve-se, provavelmente, ao Escritório Europeu e do Japão não apresentarem nenhuma patente concedida, reduzindo o volume de patentes outorgados nesse ano.

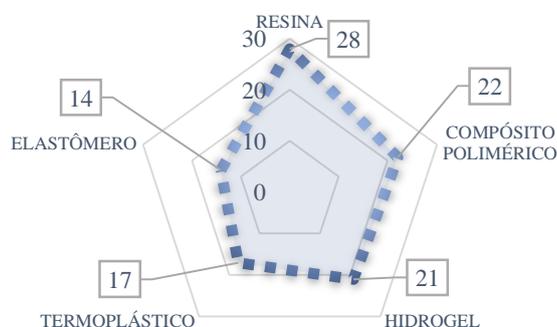
Figura 4. Quantidade de patentes concedidas por ano considerando os termos de busca usados no trabalho



Fonte: Elaborado pelos autores com dados obtidos no Patent Inspiration®

A análise apresentada na Figura 5 evidencia que, dentre as patentes concedidas, há um maior foco na síntese de novas resinas, compósitos poliméricos e hidrogéis para a concepção de novos materiais poliméricos com capacidade de autorregeneração com emprego nas indústrias automotiva e aeroespacial e em áreas como medicina e biomedicina.

Figura 5. Número de patentes concedidas por tipo de material



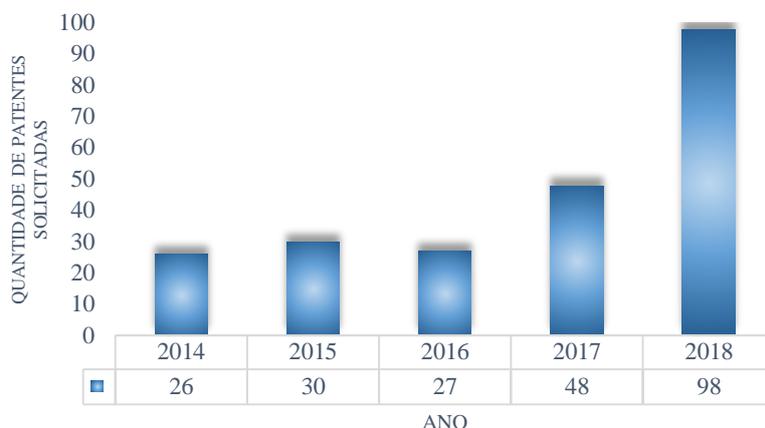
Fonte: Elaborado pelos autores com dados obtidos no Patent Inspiration®

Em relação às abordagens tecnológicas utilizadas para obtenção de polímeros autorregenerativos, os resultados mostram que 40,0% das patentes concedidas descrevem o uso de reparação extrínseca, 37,0% utilizam recuperação intrínseca e 15,0% citam o uso de memória de forma. Em 8,0% dos documentos patentários concedidos não há uma definição clara da tecnologia aplicada.

Quando se investiga a quantidade de patentes solicitadas, a série histórica apresentada na Figura 6 mostra um importante crescimento no número de publicações nos últimos 2 anos que também pode ser explicado pelo contínuo avanço em pesquisa e desenvolvimento dos principais países depositante de patentes. Entre 2014 e 2018, a República Popular da China (CN) é apresentada como detentora de 45,0% dos documentos solicitados, ultrapassando o número de patentes publicadas dos Estados Unidos da América (US), com 25,0%

dos documentos analisados. A Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) e o Japão (JP) aparecem em seguida com 19,0% e 3,0%, respectivamente.

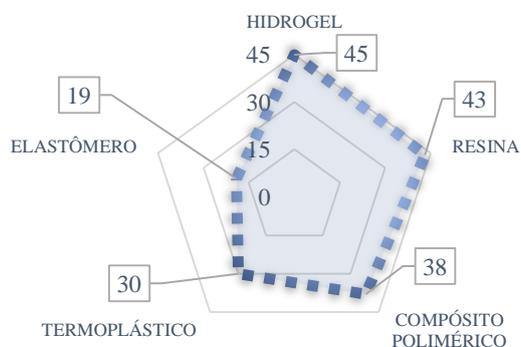
Figura 6. Quantidade de patentes solicitadas por ano considerando os termos de busca usados no trabalho



Fonte: Elaborado pelos autores com dados obtidos no Patent Inspiration®

Por meio dos resultados mostrados na Figura 7, pode-se inferir que, em médio prazo, o principal foco de desenvolvimento de novos materiais com capacidade de autorreparação ainda está voltado para medicina e biomedicina, principalmente com o contínuo desenvolvimento de hidrogéis. Entretanto, as aplicações em indústrias de eletroeletrônicos e construção civil também ganham destaque devido à síntese de novas resinas e compósitos poliméricos.

Figura 7. Número de patentes solicitadas por tipo de material



Fonte: Elaborado pelos autores com dados obtidos no Patent Inspiration®

Analisando os documentos patentários solicitados, é observado um crescimento considerável no número de patentes que descrevem o uso de reparação intrínseca, representando 52,0% do tipo de tecnologia aplicada. Já a autorregeneração extrínseca é abordada em 25,0% dos documentos e o uso de memória de forma em 15,0%. Em 8,0% das patentes publicadas não há uma definição clara da tecnologia aplicada.

Para resumir os direcionamentos adotados pelo objeto de estudo entre 2014 e 2018, a TABELA 4 apresenta os diversos campos de aplicação, em curto e médio prazo, para polímeros que apresentam capacidade de autorregeneração.

TABELA 4
Campos de aplicação para polímeros autorregenerativos em curto e médio prazo

CAMPO DE APLICAÇÃO	APLICAÇÃO	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO
AUTOMOBILÍSTICO AEROESPACIAL	LENTE	X	
	PNEUS		X
	PROTEÇÃO ANTICORROSIVA	X	X
	PROTEÇÃO CONTRA ARRANHÕES	X ¹	X ¹
	SUPERFÍCIES ANTIRREFLEXIVAS	X	
CONSTRUÇÃO CIVIL	ASFALTO	X ¹	X ¹
	CIMENTO	X ¹	X ¹
	MATERIAIS À PROVA D'ÁGUA	X ¹	X ¹
ELETROLETÔNICA	ADESIVOS CONDUTORES	X ¹	X ¹
	ATUADORES ELETROMECAÑICOS		X
	BATERIAS		X ¹
	CAPACITORES	X ¹	X
	CARÇA DE CELULAR	X	
	DISPLAYS	X ¹	X
	PAINÉIS SENSÍVEIS AO TOQUE	X	
	PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	X	X
	SENSORES	X	X ¹
ENTRETENIMENTO	BRINQUEDOS		X
ESPORTES	EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO		X
MEDICINA BIOMEDICINA	ADESIVOS CIRÚRGICOS		X
	ENGENHARIA DE TECIDOS	X ¹	X ¹
	LIBERAÇÃO CONTROLADA DE FÁRMACOS	X ¹	X ¹
	IMPLANTES	X ¹	X ¹
	ÓRGÃOS ARTIFICIAIS	X	
	REPARAÇÃO DE CARTILAGENS		X
	RESTAURAÇÃO ÓSSEA	X	X ¹
	SENSORES	X	
MILITAR	ESTRUTURAS À PROVA DE BALAS		X
	MATERIAIS À PROVA D'ÁGUA		X
	PROTEÇÃO CONTRA IMPACTO		X
	PROTEÇÃO ANTICORROSIVA		X
ÓLEO E GÁS	FRATURA HIDRÁULICA		X
	ISOLAMENTO DE POÇOS	X ¹	
	PROTEÇÃO DE TUBULAÇÕES		X
TINTAS	PROTEÇÃO ANTICORROSIVA		X ¹
	PROTEÇÃO CONTRA ARRANHÕES	X ¹	X ¹

Fonte: Elaborado pelos autores com dados obtidos no Patent Inspiration®

Ao analisar os campos de aplicação para polímeros autorregenerativos em curto e médio prazo,

¹ Aplicações com 2 ou mais documentos patentários.

observou-se que a medicina apresenta uma maior diversidade de aplicações de polímeros com capacidade autorregenerativa, destacando o uso em implantes, engenharia de tecidos e liberação controlada de fármacos, por estarem presentes em duas ou mais patentes e em ambos os horizontes temporais.

Alguns componentes autorregenerativos empregados nas indústrias de eletroeletrônicos já avançaram o estágio de pesquisa. O desenvolvimento de displays flexíveis e superfícies com proteção contra arranhões em celulares já estão sendo absorvidos pelo mercado. Na construção civil, o enfoque está nas mesmas aplicações em curto e médio prazo, ressaltando o grande interesse no emprego em materiais cimentícios capazes de se autorrecuperar de rachaduras e danos pontuais em nível microscópico e no aumento da durabilidade de asfaltos.

Pode-se inferir que há mercados emergentes para materiais inteligentes autorregenerativos como as indústrias de construção naval, aeronáuticas e aeroespacial. A autorregeneração em compósitos poliméricos utilizados nessas áreas, torna-se uma solução para desafios de projeto e fabricação, pois a rapidez na recuperação em casos de falha é crucial (MPHAHLELE *et al.*, 2017; WU, 2018). A Figura 8 lista exemplos de empresas que têm atuado no mercado de polímeros autorregenerativos entre 2014 e 2018, de acordo com a base de dados Patent Inspiration[®].

Figura 8. As 50 principais empresas detentoras de patentes concedidas entre 2014 e 2018.

AERIS THERAPEUTICS INC • ALENIA AERONAUTICA SPA • CORNERSTONE RES GROUP INC
GLOBAL ENERGY SCIENCES LLC • **GM GLOBAL TECH OPERATIONS INC** • HARVARD COLLEGE
IANGSU JINLING SPECIAL PAINT CO LTD • **IBM** • IMERYS MINERALS LTD • INSTITUTO TECHNOLOGIAS KAI EREVNAS • JAPAN SCIENCE & TECH AGENCY
JINLING INST TECHNOLOGY • KOREA ELECTRONICS TECHNOLOGY • KOREA INST SCI & TECH • LEONARDO SPA • LG CHEMICAL LTD • MOTOROLA MOBILITY LLC
NASA • NEI CORP • NO RUST REBAR INC • NOF CORP • NORTHERN ELASTOMERIC INC • OWENS CORNING INTELLECTUAL CAP • OWENS CORNING INTELLECTUAL CAPITAL LLC
PANASONIC IP MAN CO LTD • PANEPISTIMIO THESSALIAS • PARKER HANNIFIN CORP • PETROLIAM NASIONAL BERHAD PETRONAS • PRAD RES & DEV LTD
PULMONX • PULMONX CORP • SCHLUMBERGER CA LTD • SCHLUMBERGER HOLDINGS • SCHLUMBERGER SERVICES PETROL
SCHLUMBERGER TECHNOLOGY BV STBV • **SCHLUMBERGER TECHNOLOGY CORP**
SHANGHAI B & F ENERGY SAVING TECH CO LTD • SHANGHAI CHENGYING NEW MATERIALS CO LTD • SHANGHAI TIANMA MICRO ELECT CO
SHANGHAI TIANMA MICRO-ELECTRONICS CO LTD • SHANGHAI WEIKAI OPTOELECTRONIC NEW MATERIAL CO LTD • TARKETT GDL
THE US ADMINISTRATOR OF THE NASA • TIANJIN YUHONG BUILDING WATERPROOF MATERIALS CO LTD • TIANMA MICRO-ELECTRONICS CO LTD • TORAY FINECHEMICALS CO LTD
U S A S REPRESENTED BY THE ADMINISTRATOR OF NASA • UCHICAGO ARGONNE LLC • XEROX CORP • YANGZHOU NISSEI ELECTRIC CO LTD

Fonte: Dados obtidos no Patent Inspiration[®]

4 CONCLUSÃO

Entre 2014 a 2018, o desenvolvimento de polímeros autorregenerativos foi concentrado em dois países: Estados Unidos da América e República Popular da China. Nos últimos 04 anos o número de documentos patentários cresceu de modo significativo, principalmente em relação aos depósitos de patentes. Portanto, entende-se que há importância para o mercado a aplicação de polímeros com capacidade autorregenerativa.

Devido à capacidade de uso estrutural, há uma sustentação do emprego de resinas e compósitos poliméricos como os principais tipos de materiais com propriedades autorregenerativas em aplicação de curto e médio prazo. Entretanto, é importante destacar que há uma vertente ascendente significativa no uso de hidrogéis impulsionados pelo aumento da aplicabilidade desta classe na medicina/biomedicina devido, principalmente, a sua biocompatibilidade.

Quanto às tecnologias descritas, o uso de reparação extrínseca se equipara ao uso de reparação intrínseca em curto prazo. Entretanto, ao analisar o desenvolvimento de polímeros com propriedades autorregenerativas em médio prazo, é observado uma maior importância do uso de tecnologias intrínsecas. Percebe-se que mesmo com a facilidade de se obter polímeros com capacidade autorregenerativa pautada no uso de agentes de reparação, há uma maior preferência ao desenvolvimento de novos materiais poliméricos que apresentam autorregeneração intrínseca, não só pela possibilidade de recuperação múltipla, mas também

pela possibilidade de diminuir possíveis problemas de custo associado ao uso de agentes de reparação.

O número crescente de documentos patentários solicitados e concedidos é característico de um desenvolvimento tecnológico que impulsiona a pesquisa científica de polímeros autorregenerativos para o aperfeiçoamento de produtos ou para suprir a demanda por novas tecnologias. A diversificação dos campos para pesquisa, desenvolvimento e aplicação de polímeros autorregenerativos mostra que o mercado global está em crescimento. A existência de novos entrantes como as indústrias de entretenimento e de esportes e a área militar confirma que há interesse em inovação em médio prazo.

5 REFERÊNCIAS

- AÏSSA, B. *Self-healing Materials: Innovative Materials for Terrestrial and Space Applications*. Smithers Rapra, 2014.
- AMENDOLA, V.; MENEGHETTI, M. *Self-healing at the Nanoscale: Mechanisms and Key Concepts of Natural and Artificial Systems*. CRC Press, 2011.
- BLAISZIK, B. J. et al. *Self-healing polymers and composites*. Annual Review of Materials Research, v. 40, p. 179-211, 2010.
- BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. *Technology Roadmap–Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia*. Interciência, 2016.
- GARCIA, S. J. *Effect of polymer architecture on the intrinsic self-healing character of polymers*. European Polymer Journal, v. 53, p. 118-125, 2014.
- GHOSH, S. K. (Ed.). *Self-healing materials: fundamentals, design strategies, and applications*. John Wiley & Sons, 2009.
- GOOGLE SCHOLAR®. Disponível em: < <http://www.google.com/scholar/> >. Acessado em 16/07/2019.
- GOOGLE TRENDS®. Disponível em: < <http://www.google.com/trends/> >. Acessado em 16/07/2019.
- LI, G.; MENG, H. (Ed.). *Recent advances in smart self-healing polymers and composites*. Elsevier, 2015.
- MPHAHLELE, K.; RAY, S. S.; KOLESNIKOV, A. *Self-Healing Polymeric Composite Material Design, Failure Analysis and Future Outlook: A Review*. Polymers 2017, 9(12):535. DOI:10.3390/polym9100535
- PATENT INSPIRATION®, disponível em: < <http://www.patentinspiration.com/> >. Acessado em 18/07/2019.
- ROHATGI, P. K.; NOSONOVSKIĀ, M. *Biomimetics in Materials Science: Self-healing, Self-lubricating, and Self-cleaning Materials*. Springer Series in Materials Science, Springer, 2012.
- WU, S. *Research Progress of Self-healing Polymer Materials*. Modern Materials Science and Technology 2018; 1(1):768. DOI: 10.18063/mmst.v1i1.2018.
- XIE, Tao. *Recent advances in polymer shape memory*. Polymer 2011; 52(22):4985-5000, DOI: 10.1016/j.polymer.2011.08.003