

## PROSPECÇÃO DETECNOLOGIAS RELACIONADAS AO PROCESSO DE BIOSSORÇÃO DE METAIS

### PROSPECTION OF TECHNOLOGIES RELATED TO METAL BIOSORPTION PROCESS

Ellen Cristine Giese<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Serviço de Metalurgia Extrativa e Bioprocessos, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI - Rio de Janeiro/RJ – Brasil  
Av. Pedro Calmon 900 – CEP: 21941-908.  
Rio de Janeiro-RJ, Brasil  
egiese@cetem.gov.br

#### Resumo

*A bioissorção consiste em um processo biológico de retenção, remoção ou recuperação de metais ou outros compostos presentes em soluções aquosas, através de adsorção passiva ou complexação com sítios ativos presentes em diferentes materiais utilizados como bioissorventes. O desenvolvimento de processos de bioissorção tem apresentado considerável destaque nos últimos anos principalmente para aplicação em processos de tratamento de efluentes assim como em processos de recuperação de metais preciosos. Considerando a importância do processo de bioissorção em áreas diversas, o objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução das inovações tecnológicas através da análise das patentes depositadas na base de dados da Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI). Entre os anos de 1973 e 2015, 39 patentes foram depositadas na PatenSCOPE, com destaque para os pedidos de proteção nos Estados Unidos, China, República da Coreia, Alemanha, Rússia, Canadá, Reino Unido e Portugal. As principais áreas de destaque em tecnologias correlatas foram as tecnologias desenvolvidas para o tratamento de água, de águas residuais, de esgotos ou de lamas e lodos; assim como o desenvolvimento de processos químicos e o uso de micro-organismos. Em comparação com o número de artigos publicados relacionados ao tema nos últimos vinte anos, ficou evidente que as inovações biotecnológicas envolvendo a bioissorção de metais não têm sido protegidas por patentes apesar das mesmas também serem consideradas um produto acadêmico.*

**Palavras-chave:** bioissorção, metais, patentes.

## Abstract

*The biosorption process consists in a biological process of retention, removal or recovery of metals or other compounds from aqueous solutions through passive adsorption or complexation with active sites present in different materials used as biosorbents. The development of biosorption processes has been of considerable importance in the last years mainly for application in effluent treatment processes as well as in recovery processes of precious metals. Due to the importance of the biosorption process in different areas, this study aimed to analyze the evolution of technological competence through the analysis of patents in the World Intellectual Property Organization (WIPO) database. Between the years 1973 and 2015, 39 patents were filed in Patentscope, with emphasis on applications for protection in the United States, China, the Republic of Korea, Germany, Russia, Canada, the United Kingdom and Portugal. The main areas of emphasis in technologies related to the treatment of water, wastewater, sewage or sludge; as well as the development of chemical processes and the use of microorganisms. Compared with the number of articles published in the last twenty years, it became evident that biotechnological innovations involving metal biosorption have not been protected by patents even though they are also considered an academic product.*

**Key-words:** biosorption, metals, patents.

## 1. Introdução

A bioissorção consiste no processo de ligação de metais e outros elementos, como corantes têxteis, agrotóxicos, entre outros, à superfície celular de micro-organismos e outras biomassas, como algas, plantas e crustáceos (VOLESKY, 1990; DAS, 2010). A possibilidade do reaproveitamento de materiais biológicos de maneira econômica e sustentável instigou o desenvolvimento de inovações nos processos convencionais de adsorção, sendo que atualmente, a bioissorção vem sendo principalmente empregada no tratamento de efluentes assim como em processos de extração e recuperação de metais e elementos metálicos incluindo-se metais preciosos e terras raras (AKSU, 2001; NASCIMENTO et al., 2016; COIMBRA et al., 2017; HEIDELMANN et al., 2017).

A adsorção de metais no processo de bioissorção ocorre através de interações eletrostáticas entre o cátion metálico e a superfície celular microbiana carregada negativamente (GARCIA JR.; BEVILAQUA, 2001). A capacidade de bioissorção depende dos grupos funcionais presentes nos revestimentos celulares de cada espécie, principalmente de radicais carboxil, amina, sulfidril, fosfato e hidroxil presentes na forma de polissacarídeos, glicoproteínas, lipídios e outros componentes das membranas ou revestimentos celulares (GIESE et al., 2016).

Em alguns processos industriais, a imobilização celular é utilizada como uma alternativa ao uso das células livres por permitirem o uso da biomassa associadas à suportes inertes em condições adversas de pH e agitação, mantendo-se a integridade celular e a eficiência dos bioprocessos (COVIZZI et al., 2007). O alginato de cálcio é um composto polimérico formado através da gelificação iônica de uma mistura de uma solução de alginato de sódio com outra solução de cloreto

de cálcio. Este tipo de matriz polimérica é comumente utilizado em processos industriais para imobilização tanto de células microbianas quanto de enzimas (GIESE, 2015a, 2015b).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma prospecção tecnológica dos processos de biossorção de metais com o intuito de caracterizar o perfil das patentes depositadas em bases internacionais.

## 2. Metodologia

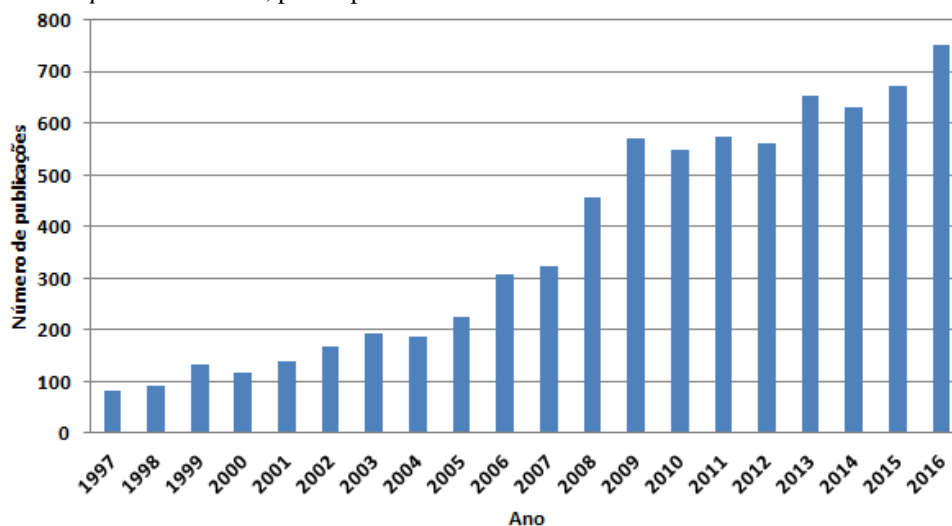
O mapeamento dos pedidos de patentes e tecnologias depositadas relacionadas ao processo de biossorção de metais consistiu na busca das palavras-chave "*biosorption*" e "*metal*". A base de dados escolhida foi a *PatentScope* da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), que importa documentos de patentes periodicamente de 148 países, incluindo ainda o Tratado de Cooperação de Patentes (PCT). As patentes foram tratadas seguindo-se de inserção de seus dados em gráficos plotados em Excel 2010. A análise dos artigos publicados e indexados na principal coleção da base de dados *Web of Science* foi realizada a partir de buscas das palavras-chave "*biosorption*" e "*metal*" para o período de 1997 a 2016. As pesquisas nas duas bases de dados foram atualizadas pela última vez na data de 01/02/2017.

## 3. Resultados e Discussão

As novas inovações tecnológicas são baseadas nos conhecimentos gerados pela pesquisa científica capazes de se converter em produtos e processos. A publicação de artigos científicos revela os resultados dos investimentos em educação e pesquisa científica e tecnológica além de permitir a divulgação das fronteiras do conhecimento. Assim, acabam por contribuir para o desenvolvimento de inovações em temas de relevância dos pontos de vista econômico, social e humano (PEREIRA JR., 2007; BROFMAN, 2012).

Os artigos científicos podem ser considerados como alicerces das inovações, uma vez que as patentes só apresentam real importância quando resultam em resultados práticos e financeiros (LEITE, 2016). Desta maneira, para melhor avaliação dos dados obtidos na prospecção tecnológica, o presente trabalho buscou realizar primeiramente uma análise bibliométrica para a busca pelas palavras-chaves "*biosorption*" e "*metal*", em conjunto, nos últimos 20 anos, na base de dados *Web of Science*. Os resultados estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Evolução do número de publicações científicas em periódicos internacionais indexados, referentes aos termos “*biosorption*” e “*metal*”, para o período de 1997 à 2016.



Fonte: Autoria própria a partir de dados coletados na base *Web of Science* (2017).

De acordo com a Figura 1, as publicações no tópico biossorção de metais aumentaram em 9 vezes desde o ano de 1997 (82 artigos) em comparação com o ano de 2016 (753 artigos), totalizando 7387 artigos publicados no período avaliado. Este crescimento é expressivo e está em acordo com o aumento geral da produção científica mundial indexada. Os países de grande participação na produção científica apresentaram um crescimento no número de publicações indexadas nos últimos anos refletindo o período de crescimento econômico e social assim como de investimentos e políticas de ciência e tecnologia (FARIA et al., 2011).

Considerando somente as publicações com autores e co-autores de instituições brasileiras, o Brasil passou da 9<sup>o</sup> para a 6<sup>a</sup> colocação na lista de países com artigos científicos publicados na área de biossorção de metais, com 68 artigos entre 1997-2006 e 246 artigos entre 2007-2016. A Índia foi o país com mais publicações científicas no tópico pesquisado, totalizando 1254 artigos (16,9%), seguida por China (1234 artigos, 16,7%), Turquia (596 artigos, 8,1%), Irã (348 artigos, 4,7%), Brasil (314 artigos, 4,2%), Coreia do Sul (304 artigos, 4,1%) e Estados Unidos (299 artigos, 4,1%).

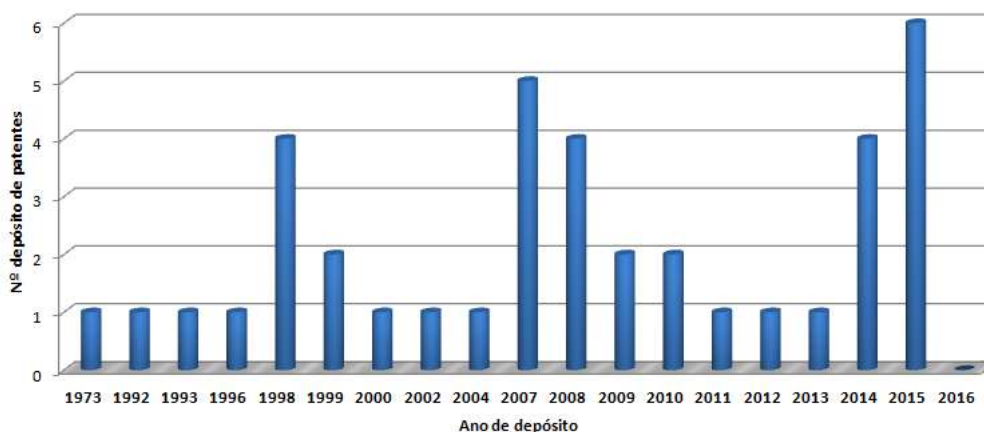
De acordo com RIGHETTI (2013), o Brasil subiu de 17<sup>o</sup> lugar mundial na quantidade de artigos científicos publicados para 13<sup>o</sup> entre os anos de 2001 e 2011. As publicações científicas em revistas indexadas geram reconhecimento, no entanto, é necessário que o pesquisador além de disseminar o conhecimento para a sociedade, priorize a proteção da pesquisa e transforme seus resultados em bens para a sociedade (FEDERMAN, 2010).

Após o conhecimento dos números relativos à publicação de artigos científicos na área de interesse do presente trabalho, buscou-se avaliar as patentes depositadas no tópico biossorção de metais através de um estudo prospectivo na base de dados *Patentscope* (OMPI), fórum global de

cooperação de propriedade intelectual, no que tange a transferência de tecnologias como depósitos de patente.

A busca realizada com as palavras-chave “biosorption” e “metal”, simultaneamente, rastreamos 39 documentos patenteados. A Figura 2 ilustra a evolução anual dos depósitos das patentes sobre a temática biossorção de metais.

Figura 2 - Distribuição cronológica dos depósitos de patentes sobre a temática biossorção de metais.



Fonte: A autoria própria a partir de dados coletados na base *Patentscope* (2017).

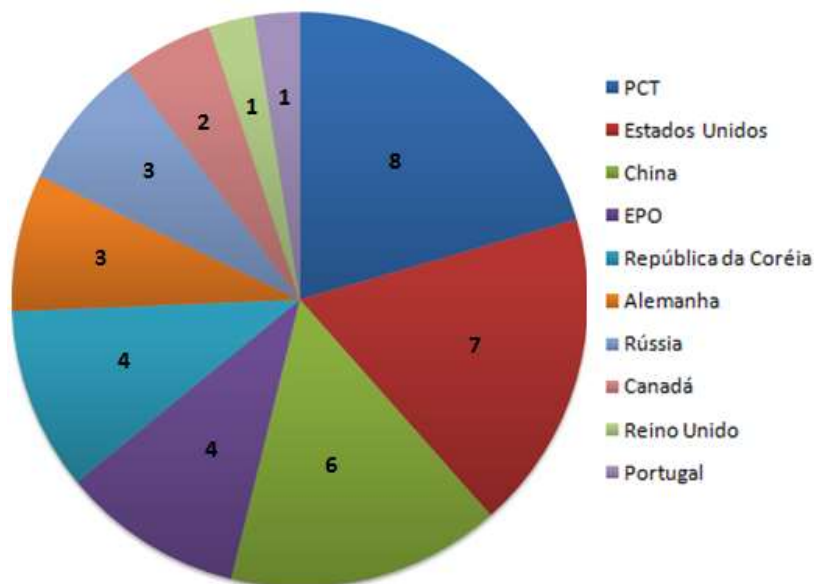
Através da análise das patentes encontradas, pode-se observar que após o depósito da primeira patente correlacionada ao tema biossorção de metais, o que ocorreu no ano de 1992, houve uma queda na procura pela proteção da informação, a qual só começou a ser novamente realizada nos anos de 2007 e 2008, com 5 e 4 depósitos, respectivamente; e nos anos de 2014 e 2015, com 4 e 6 depósitos, respectivamente. No ano de 2016 não foi realizado nenhum pedido de proteção na WIPO contendo as palavras-chave pesquisadas.

Embora o primeiro depósito de patente para a busca pelas palavras-chave tenha ocorrido em 1973, este documento trata de um novo aparato para uso no tratamento biológico de efluentes através de processo de biossorção, mas não necessariamente de efluentes contendo metais pesados. As primeiras tecnologias patenteadas, no início da década de 90, estão relacionadas ao uso de espécies bacterianas imobilizadas em gel de alginato em processos de biossorção de metais pesados visando o tratamento de efluentes, e estas foram consideradas no presente trabalho.

Os depósitos de patentes foram realizados em 8 países, incluindo-se ainda o Tratado de Cooperação em matéria de Patentes (PCT) e o Escritório Europeu de Patentes (EPO), como apresentado na Figura 3. O PCT dispõe da maior quantidade das tecnologias para biossorção de metais, apresentando 8 documentos de patentes registrados, que correspondem a 20,5% do total. Em seguida, destacam-se os Estados Unidos e China, com 7 e 6 dos depósitos contabilizados, respectivamente. Os EUA e a China também se destacaram recentemente como países com maior

número de depósitos de patentes para moléculas bioativas (SOUZA et al., 2013) e biocatalisadores imobilizados (GIESE, 2015).

Figura 3 - Distribuição geográfica dos depósitos de patentes prospectados em países de prioridade sobre a temática biossorção de metais.



PCT, Tratado de Cooperação em matéria de Patentes; e EPO, Escritório Europeu de Patentes.

Fonte: Autoria própria a partir de dados coletados na base *Patentscope* (2017).

Dentre as 39 patentes prospectadas, apenas 1 depósito foi realizado por aplicante brasileiro. A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro PUC-Rio realizou o depósito de patente (WO/2014/165955) de um processo de biossorção de metais pesados com o uso da bactéria *Rhodococcus ruber* como material biossorvente. A invenção consiste no tratamento da parede celular bacteriana com solução de hidróxido de sódio, seguida do contato celular com um efluente para remoção dos metais cobalto (Co) e níquel (Ni).

Uma forma de aumentar a capacidade de biossorção é disponibilizar os sítios de ligação para a biossorção. A modificação química da parede celular é geralmente destinada a aumentar a capacidade de biossorção e a afinidade para um íon de interesse. Em geral, os procedimentos de modificação química incluem pré-tratamento, melhoria do sítio de ligação, modificação do sítio de ligação e polimerização (VIRARAGHAVAN; BALASUBRAMANIAN, 2015).

Muitas vezes esses tratamentos são aplicados para desfazer qualquer ligação existente com os sítios da superfície celular (e.g., lixiviar íons metálicos leves, substâncias causadoras de odores e outras impurezas). Isso se aplica, principalmente, quando se utiliza macroalgas provenientes de ambientes naturais. O pré-tratamento ácido é um dos métodos mais frequentes para limpar os sítios ativos superficiais da biomassa (ZHANG et al., 2010).

Outra maneira de se modificar a superfície celular para fins de bio-sorção, é o uso de uma matriz polimérica para imobilização microbiana (HEIDELMANN et al., 2017). A encapsulação de micro-organismos é uma técnica que oferece algumas vantagens nas aplicações da biorremediação. A imobilização celular é um processo pelo qual células microbianas são retidas uniformemente dentro de esferas poliméricas semi-permeáveis. O tipo de polímero e o tamanho da partícula influenciam na atividade celular, retenção, difusão de nutrientes e estabilidade da partícula (COVIZZI et al., 2007; GIESE 2015a; 2015b).

Os materiais mais comuns descritos por serem utilizados como suporte celular em processos industriais incluem alginate, álcool polivinílico (PVA), celulose e poliuretano, (COVIZZI et al., 2007; GIESE, 2015a, 2015b). Por meio da Tabela 1, são apresentados os principais tipos de suporte e métodos de imobilização da biomassa utilizada como bio-sorvente nas patentes prospectadas, assim como os micro-organismos ou outros tipos de materiais biológicos usados nos processos de bio-sorção descritos.

Tabela 1 –Bio-sorventes utilizados nas patentes depositadas relacionadas à bio-sorção de metais e tecnologias correlatas

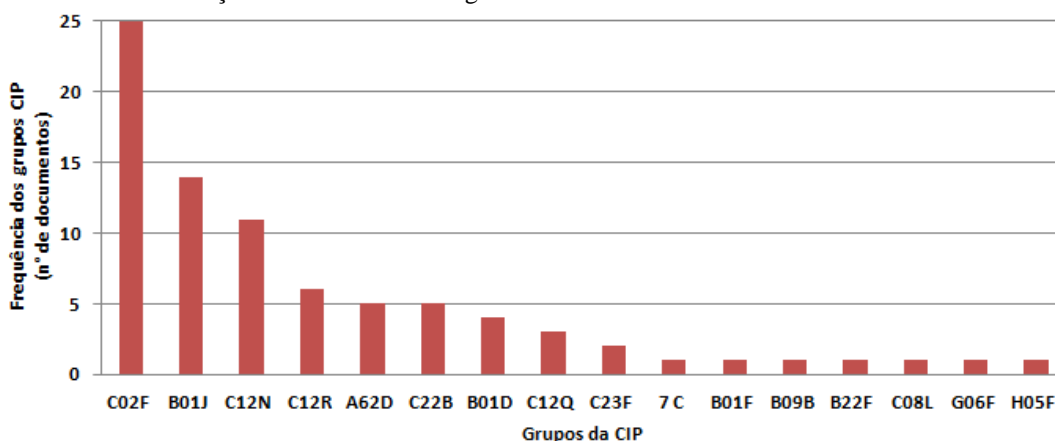
Número da publicação da patente	Material bio-sorvente	Suportes ou Métodos de Imobilização
1020150070463, KR1020150070462, KR1020150070461	<i>Bacillus catenulatus</i> JB-022 <i>Bacillus subtilis</i> JB-016 <i>Bacillus thuringiensis</i> JB-007	Inorgânicos: zeólitas, terra diatomácea, carvão ativado, vermiculite Orgânicos: colágeno, quitosana, poli-carbono, PVA, celulose
WO2015038021	Talos de uva secos e moídos	Algas, microalgas, encapsulamento e ligações cruzadas
CN101249421	Algas	Alginato de sódio
101037682	<i>Bacillus cereus</i>	Alginato de sódio
US20080169238	<i>Arthrobacter viscosus</i>	Zeólitas sintéticas
WO/2014/165955	<i>Rhodococcus ruber</i>	Não descrito/reinvidicado
US20150090075	Algas e leveduras	Não descrito/reinvidicado
RU0002509734	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Não descrito/reinvidicado
20110269169	<i>Pseudomonas alcaliphila</i> MBR	Não descrito/reinvidicado
WO/2010/058968	<i>Bacillus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Staphylococcus</i>	Não descrito/reinvidicado
CN101444719	<i>Potamogeton pectinatus</i>	Não descrito/reinvidicado
20080009054	<i>Bacillus</i> sp	Não descrito/reinvidicado
02312073	<i>Streptomyces chromogenus</i>	Não descrito/reinvidicado
DE000004433413	Bactérias redutoras de sulfato	Não descrito/reinvidicado

Fonte: A autoria própria (2017).

A distribuição dos documentos de patentes relacionadas à bio-sorção de metais e tecnologias correlatas depositadas na OMPI por códigos de classificação internacional (CIP) está apresentada na Figura 4. O código C02F (tratamento de água, de águas residuais, de esgotos ou de lamas e lodos) foi citado 25 vezes dentre as 39 patentes localizadas, correspondendo a uma frequência igual a 64%.

Os códigos de classificação mais citados foram ainda o B01J (processos químicos ou físicos), com frequência de 35%, e C12N (micro-organismos ou enzimas), com frequência de 28%, indicando assim que a maioria dos documentos de patentes selecionados está relacionado com a Seção B (Operações de Processamento) e seção C (Química e Metalurgia) da CIP.

Figura 4 - Frequência dos grupos da Classificação Internacional de Patentes utilizados nos depósitos de patentes relacionados à bioissorção de metais e tecnologias correlatas.



Fonte: Autoria própria a partir de dados coletados na base *Patentscope* (2017).

Esses resultados estão em acordo com o esperado, visto que a principal aplicação da bioissorção é através do uso de micro-organismos em processos químicos de tratamento de águas e afins. Os processos bioissorçivos apresentam importância em qualquer forma de processo de tratamento biológico primário ou secundário de efluentes aquosos, incluindo resíduos domésticos, municipais e industriais, e em algumas circunstâncias, até mesmo resíduos sólidos. Estes tratamentos contemplam plantas de lodo ativado, biofiltros, reatores de biofilme, filmes fixos e suspensos, tratamentos por lagoa, tratamentos de nitrificação e desnitrificação, processos biológicos de remoção de fosfato e compostagem, entre outros. Nos processos de tratamento biológico, as atividades metabólicas dos micro-organismos presentes podem ainda contribuir para a degradação de materiais orgânicos, além da bioissorção de metais (GADD, 2008). Apesar de menos comum, ressalta-se que as seções A (Necessidades Humanas), G (Física) e H (Eletricidade) também foram citadas em alguns documentos, indicando assim que a tecnologia protegida está envolvida em diferentes áreas de aplicação.

O Instituto de Biomateriais Jeonju (Japão), por exemplo, apresentou três depósitos de patentes no ano de 2015 (KR1020150070463, KR1020150070462, KR1020150070461) para o uso de diferentes estirpes bacterianas (*B. catenulatus*, *B. subtilis* e *B. thuringiensis*) na remoção de corantes catiônicos, metais e metais pesados de efluentes industriais.



A biossorção vem sendo descrita como um método rápido, reversível e econômico de remoção de metais em baixos níveis de concentração quando em comparação com as tecnologias convencionais, as quais envolvem etapas de precipitação química e osmose inversa (TUNALI; AKAR, 2005). O Instituto Superior Técnico (Portugal, WO2015038021) propôs um processo para remoção de metais a partir de efluentes líquidos que consiste em quatro etapas: em um primeiro momento, os metais pesados presentes no efluente a ser tratado são adsorvidos em um material biossorvente formado por talos de uva secos e moídos. Esta etapa ocorre em reatores em série com agitação mecânica, os quais são individualmente ligados às colunas contínuas. A biomassa contendo os metais adsorvidos é então floculada e sedimentada. Na última etapa, os metais adsorvidos são eluídos e a biomassa regenerada, utilizando-se filtros do tipo prensa e membranas. Assim, buscou-se aplicação para um resíduo agroindustrial local de maneira eficiente e efetiva.

O tratamento biológico de águas residuais provenientes da galvanoplastia, processo eletrolítico para recobrimento metálico de objetos, também foi alvo de pedido de proteção (RU0002509734). Estas águas residuais são normalmente provenientes de tratamentos químicos e eletroquímicos, e são constituídos por ácidos ou bases fortes, podendo ainda conter cromo, cobre, zinco, níquel, cianeto, estanho e chumbo. O processo citado é baseado na adição de biomassa de levedura, proveniente de resíduos de cervejaria, com viabilidade de 90-95%, ao efluente líquido a ser tratado. A suspensão obtida (pH de 5,5-8,0) deve permanecer em contato por 8 horas, entre 10-29 °C. Os metais adsorvidos são então recuperados pela adição de cal e tratamento úmido à 90 °C por 1 hora.

As águas residuais provenientes da drenagem ácida de minas, especialmente no tratamento de águas ácidas provenientes da extração de carvão e cobre, também é um efluente a ser tratado pelo processo da biossorção. A drenagem ácida de minas resulta da oxidação natural de minerais sulfetados, na presença de bactérias, quando expostos ao oxigênio e à água. Estes efluentes apresentam elevada acidez e altas concentrações de sulfato e de metais dissolvidos que comprometem a qualidade dos solos e dos recursos hídricos e por esta razão precisam ser tratados. Neste caso, a biossorção de metais, principalmente ferro, alumínio, magnésio, manganês e zinco, tem sido realizada com o uso de bactérias heterotróficas como a *Rhodococcus opacus* (SILVAS et al., 2011), assim como de bactérias redutoras de sulfato, como o proposto na patente alemã (DE000004433413).

No campo do uso da biossorção como uma tecnologia verde para extração, separação e purificação de metais encontram-se a patente da americana Material Corporation (US20150090075). Este documento trata da descrição de um método para remoção de metais e metais preciosos (ouro, platina, titânio) depositados sobre diferentes materiais. A inovação desta metodologia está na substituição da água régia por um composto organo-amina, e do uso da

bioissorção no processo de separação, fazendo com que os metais de interesse sejam separados sem causar dano ao objeto sobre o qual estes estavam depositados.

De acordo com a referida patente, os objetos sólidos poderão ser previamente tratados com um composto organo-amina, e os metais depositados, poderão ser recuperados na forma de complexos organometálicos e posteriormente isolados através do uso de materiais bioissorventes como a biomassa da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Inovações com o uso de nanomateriais também foram encontradas no levantamento realizado. A patente da Universidade de Jinan (CN102600814) descreve a preparação de um bioissorvente baseado em um material de quitosana com propriedades magnéticas ligado à nanofibras de carbono. O uso de nanofibras de celulose é citado na patente (WO/2007/023002), a qual se refere à obtenção de metais puros ou ligas e misturas metálicas através da bioissorção destes elementos em fibras de celulose na forma de nanopartículas.

Outro documento que merece atenção é a patente da Universidade do Minho (US20080169238), a qual refere-se a um processo de bioissorção de cromo hexavalente (Cr (VI)) por biofilme bacteriano de *Arthrobacter viscosus* sobre um suporte de zeólita do tipo faujasita. Os biofilmes bacterianos são formados pelo crescimento e aderência de micro-organismos sob a forma de agregados celulares sobre superfícies inertes. Estes sistemas são uma alternativa ao uso de processos de encapsulamento celulares ou do uso do material bioissorvente em suspensão, e têm sido aplicados desde em processos de biorremediação e biolixiviação como até mesmo nas estações de tratamento de águas (DANKO; GUNCH, 2012; GIESE et al., 2014; MATOS et al., 2012).

No caso do biofilme bacteriano depositado sobre a zeólita na patente supracitada, o mesmo é capaz de promover a redução de Cr (VI) a Cr (III) e, sendo que posteriormente, o íon metálico Cr (III) acaba fixando-se na zeólita por troca iônica. Este processo pode ser aplicado no tratamento de águas residuais de processos industriais, da mineração e da agricultura. O desenvolvimento de novos materiais bioissorventes com características como estrutura de superfície controlável, boa estabilidade, boa capacidade de adsorção, separação fácil e boa capacidade de reutilização é primordial para a aplicação direcionada na recuperação de metais preciosos e elementos terras raras.

A proteção do conhecimento adquirido e a divulgação do mesmo na forma de artigos científicos e patentes é necessária para a avaliação do estado da arte das temáticas dos projetos de pesquisa. Através da análise dos pedidos de patente rastreados neste documento, constatou-se avanços nos processos de bioissorção de metais, porém, faz-se necessário maior investimento econômico e acadêmico para que esta tecnologia, considerada *green chemistry*, seja aplicada em largas escalas nas próximas décadas.

## Referências

- AKSU, Z. Biosorption of reactive dyes by dried activated sludge: equilibrium and kinetic modeling. **Biochemical Engineering Journal**, v. 7, n. 1, p. 79-84, 2001.
- BROFMAN, P. R. A importância das publicações científicas. **Cogitare Enfermagem**, v. 17, n. 3, jul./set. p. 419-421, 2012. Disponível em: <[ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/cogitare/article/download/29281/19029](http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/cogitare/article/download/29281/19029)>. Acessado em: 29 de setembro de 2016.
- COIMBRA, N. V.; NASCIMENTO, M.; GIESE, E. C. Avaliação do uso de biomassa bacteriana imobilizada na biossorção de terras-raras leves e médias. **HOLOS**, v. 6, p. 136-146, 2017.
- COVIZZI, L. G.; GIESE, E. C.; GOMES, E.; DEKKER, R. F. H.; DA SILVA, R. Imobilização de células microbianas e suas aplicações biotecnológicas. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 28, n. 2, p. 143-160, 2007.
- DANKO, A. S.; GUNSCH, C. K. Utilização de biofilmes na biorremediação. In: AZEVEDO, N. F.; CERCA, N. **Biofilmes na saúde, no ambiente, na indústria**. Volume 1. Publindústria: Portugal, p. 107-114, 2012.
- DAS, N. Recovery of precious metals through biosorption - a review. **Hydrometallurgy**, v. 103, n. 1, p. 180-189, 2010.
- FARIA, L. I. L.; GREGOLIN, J. A. R.; HOFFMANN, W. A. M.; QUONIAM, L.; NOBRE, C. A.; CÉSAR, C. L.; GALEMBECK, F.; SOUZA, G. M.; DAL POZ, M. E. S.; CESAR, G. A.; CARTAXO, I. M. C. Capítulo 4 – Análise da produção científica a partir de publicações em periódicos especializados. In: BRENTANI, R. R.; CRUZ, C. H. B. **Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo 2010**. Volume 1. FAPESP: São Paulo, p. 4-7-4-68, 2011. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/indicadores/2010/volume1/cap4.pdf>>. Acessado em: 02 de fevereiro de 2017.
- FEDERMAN, S. R. Publicar ou depositar a patente? **Conhecimento & Inovação [online]**, v.6, n.1, p. 48-49, 2010. Disponível em: <<http://inovacao.scielo.br/pdf/cinov/v6n1/17.pdf>>. Acessado em: 26 de janeiro de 2016.
- GADD, G. M. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 84, p. 13-28, 2009.
- GARCIA JR., O.; BEVILAQUA, D. Microrganismos, minerais e metais. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Microbiologia ambiental**. 2ª edição. Embrapa Meio Ambiente: Jaguariúna, p. 49-81, 2008.
- GIESE, E. C. **Biofilmes: a interação micro-organismo/substrato mineral na biolixiviação**. 1ª edição. Série Tecnologia Ambiental CETEM: Rio de Janeiro, 41p., 2014.
- GIESE, E. C. Biocatalisadores imobilizados: Prospecção de inovações tecnológicas na última década. **Revista GEINTEC: gestão, inovação e tecnologias**, v. 5, p. 2296-2307, 2015a.
- GIESE, E. C. **Potencial biotecnológico do uso de micro-organismos imobilizados em gel de alginato de cálcio**. 1ª edição. Série Tecnologia Ambiental CETEM: Rio de Janeiro, 49p., 2015b.
- GIESE, E. C.; MAGALHÃES, D. P.; EGLER, S. C. **Biossorção de elementos de terras-raras**. 1ª edição. Série Tecnologia Ambiental CETEM: Rio de Janeiro, 75p., 2016.
- HEIDELMANN, G. P.; ROLDÃO, T. M.; EGLER, S. G.; NASCIMENTO, M.; GIESE, E. C. Uso de biomassa de microalga para biossorção de lantanídeos. **HOLOS**, v. 6, p. 170-179, 2017.

- LEITE, R. C. C. Michelangelo, Da Vinci e a inovação. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 58-59, 2016.
- MATOS, M.; PEIXOTO, L.; NOGUEIRA, R. Biofilmes nas estações de tratamento de águas residuais. In: AZEVEDO, N. F.; CERCA, N. **Biofilmes na saúde, no ambiente, na indústria**. Volume 1. Publindústria: Portugal, p. 189-199, 2012.
- NASCIMENTO, J. M.; LEITE, S. G. F.; RIZZO, A. C. L. **Estudo da remoção do íon cobre por meio de biossorção usando biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*)**. Série Tecnologia Ambiental CETEM: Rio de Janeiro, 50p., 2016.
- PATENTSCOPE**. Disponível em: <<http://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf>>. Acessado em: 26 de janeiro de 2016.
- PEREIRA JR., A. A publicação científica na atualidade. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 7, n. 4, p. 307-308, 2007.
- Publicação Oficial Classificação Internacional de Patentes (IPC)**. Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI). Versão 2014.1. Disponível em: <<http://ipc.inpi.gov.br/ipcpub>>. Acessado em: 26 de janeiro de 2016.
- RIGHETTI, S. Brasil cresce em produção científica, mas índice de qualidade cai. 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2013/04/1266521-brasil-cresce-em-producao-cientifica-mas-indice-de-qualidade-cai.shtml>>. Acessado em: 02 de fevereiro de 2017.
- SILVAS, F. P. C.; BUZZ, D. C.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. Biossorção de metais presentes na DAM utilizando *Rhodococcus opacus*. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 4, p. 487-492, 2011.
- SOUZA, T. A.; OLIVEIRA, D. D.; SALES, E. M. Prospecção tecnológica: moléculas bioativas derivadas de produtos naturais. **Revista GEINTEC**, v. 3, n. 5, p.148-154, 2013.
- Tratado de Cooperação em matéria de Patentes (PCT)**. Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Disponível em: <<http://www.wipo.int/export/sites/www/pct/pt/texts/pdf/pct.pdf>>. Acessado em: 26 de janeiro de 2016.
- TUNALI, S., AKAR, T. Chromium (VI) biosorption characteristics of *Neurospora crassa* fungal biomass. **Minerals Engineering**, v.18, p. 681-689, 2005.
- VIJAYARAGHAVAN, K.; BALASUBRAMANIAN, R. Is biosorption suitable for decontamination of metal-bearing wastewaters? A critical review on the state-of-the-art of biosorption processes and future directions. **Journal of Environmental Management**, v. 160, p. 283-296, 2015.
- VOLESKY, B. **Biosorption of heavy metals**. Boca Raton: CRC Press. 403 p., 1990.
- ZHANG, Y.; LIU, W.; XU, M.; ZHENG, F.; ZHAO, M. Study of the mechanisms of Cu<sup>2+</sup> biosorption by ethanol/caustic-pretreated baker's yeast biomass. **Journal of Hazardous Materials**, v. 178, n. 1, p. 1085-1093, 2010.

Recebido: 20/02/2017

Aprovado: 13/06/2019