

Prospecção Tecnológica sobre Sensores e Biossensores Eletroquímicos para fins Ambientais

Technological Prospection About Electrochemical Sensors and Biosensors for Environmental Purposes

Allysson Roberto Barbosa de Lima¹

Ângladis Vieira Delfino²

Fabiane Caxico de Abreu¹

¹Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, BA, Brasil

Resumo

Sensores/biossensores eletroquímicos são dispositivos versáteis e de grande interesse para várias indústrias, como a de controle de qualidade e ambiental. Por serem práticos e baratos, eles proporcionam maior agilidade e economia. A presente pesquisa apresenta um levantamento sobre a produção científica e tecnológica por meio de dados de artigos e patentes relacionados ao tema. As plataformas de artigos (Scopus, Science Direct, Web of Science e Scielo) e de patentes: Espacenet e WIPO foram utilizadas nas buscas para as palavras-chave: “*sensor/biosensor electrochemical*” e “*sensor/biosensor electrochemical environmental*”, sendo possível coletar dados de publicações/ano (2012-2022), países correlacionados e áreas de publicações ou Classificação Internacional de Patentes (CIP). A China e os EUA foram os países mais atuantes nas publicações de artigos e depósito de patentes, sendo a China o predominante. Assim, o crescente número de publicações mostra a necessidade de desenvolvimento de tecnologias e inovações para o referido tema.

Palavras-chave: Sensores/biossensores. Indústria. Ambiental.

Abstract

Electrochemical sensors/biosensors are versatile devices that have great interest to various industries, such as quality control and environment ones. Since they are straightforward and cheap, those devices provide less time consumption and economy. The present research presents a survey on scientific and technological production through data from articles and patents related to the theme. The article platforms (Scopus, Science direct, Web of Science and Scielo) and patent platforms Espacenet and WIPO were used in the searches for the keywords “*electrochemical sensor/biosensor*” and “*electrochemical environmental sensor/biosensor*”, being possible to collect data from publications/year (2012-2022), correlated countries and the areas of publications or international patent classification (IPC). China and the US were the most active countries in publishing articles and filing patents, with China being the predominant one. Thus, the growing number of publications shows the need to develop technologies and innovations for this topic.

Keywords: Sensors/biosensors. Industry. Environmental.

Área Tecnológica: Química. Ambiental e Inovação Tecnológica.



1 Introdução

As técnicas-padrão utilizadas para a detecção e quantificação dos analitos/contaminantes são, em geral, bastante sofisticadas e, conseqüentemente, caras, além disso, necessitam de mão de obra qualificada para sua operação, manutenção e reparo. Diante disso, o desenvolvimento de sensores simples e de baixo custo é uma área tecnológica extremamente promissora, visto que simplifica e diminui os custos de várias indústrias que dependem de análises químicas.

Sensor químico é um dispositivo capaz de coletar dados e obter informações a respeito de uma espécie de interesse. Para tal, a espécie deve apresentar determinadas características, como ópticas, calorimétricas, piezoelétricas ou ainda eletroquímicas para que possam ser identificadas e quantificadas. Esse dispositivo é dividido basicamente em três partes: um reconhecedor, que é a interface responsável por interagir diretamente com o analito e gerar um sinal; um transdutor – no qual irá converter este sinal em algo mensurável; e um comunicador, que irá transportar essas informações para um instrumento de medida, possibilitando, assim, que o analista interprete os dados (ALVES; COELHO; PEREIRA, 2020; COELHO; GIAROLA; PEREIRA, 2018).

Entre os vários tipos de sensores desenvolvidos até o momento, destacam-se os eletroquímicos, que fornecem informações de cunho qualitativo e/ou quantitativo de determinado analito por meio de um sinal elétrico. Esses dispositivos utilizam a corrente elétrica como referência para induzir um processo de oxidação ou redução no analito, e esta, por sua vez, é relacionada à concentração da espécie-alvo (HUANG *et al.*, 2021; PORFÍRIO; GIAROLA; PEREIRA, 2016).

Sensores eletroquímicos podem ser construídos de forma que apresentem alta especificidade, para tal, se faz necessário que sua concepção seja baseada na interação química entre o sensor e o analito. Essa característica é obtida por meio de modificações na superfície de eletrodos, em que são adicionados materiais/moléculas que tenham alta afinidade com o composto de interesse, originando os eletrodos quimicamente modificados (EQMs). Essas modificações fazem parte de uma área da eletroquímica que está em constante desenvolvimento. Dessa maneira, os EQMs são aplicados em áreas extremamente relevantes, como análises ambientais, controle de qualidade de medicamentos ou até mesmo para auxiliar na dinâmica/eficiência de fármacos (ROUSHANI *et al.*, 2017; ROUSHANI; MOHAMMADI; VALIPOUR, 2020).

Nesse sentido, muitas pesquisas foram e estão sendo desenvolvidas para aplicação nesse ramo, o que possibilitou a determinação de diversas matrizes. Vale destacar a aplicação no ramo ambiental, a qual possui suma importância para explicar diversos fatores: contaminações de solo e água, aparições de doenças em função da concentração de espécies oriundas de agroquímicos, antibióticos utilizados em animais e de uso humano. Além disso, estudos nessa área auxiliam na qualidade de medicamentos ajudando na dinâmica dos fármacos e, assim, desenvolvê-los de forma eficiente (LIU *et al.*, 2019; SHI *et al.*, 2017; WONG *et al.*, 2020).

Nessa linha, cabe destacar a pesquisa de Magesa *et al.* (2019), na qual os autores desenvolveram um sensor eletroquímico baseado em grafeno e nitreto de carbono grafítico (2D) para aplicação em diferentes matrizes, como contaminação por íons metálicos potencialmente tóxicos, resíduos de antibióticos e pesticidas envolvidos no meio ambiente. O desenvolvimento de tecnologias voltadas para essa aplicação cabe incessantemente nos EQMs, e a busca por sensores seletivos, sensíveis, com capacidade de miniaturização e, assim, aplicação *in situ* corroboram para tal necessidade. Associado a isso, patentes que demonstrem tal inovação e recursos tecnológicos também aumentaram gradativamente, mas ainda há necessidade de englobar

mais características inovadoras – utilizando, por exemplo, nas sínteses laboratoriais materiais ecologicamente corretos, ou seja, que não agridam o meio ambiente (MAGESA *et al.*, 2019; SAMSIDAR; SIDDIQUEE; SHAARANI, 2018).

Ainda neste norte, pode-se citar também a pesquisa de Roushani *et al.* (2017) que demonstra a utilização de novas partículas, nanopartículas de carvão de silício (SiC), para formar polímeros molecularmente impressos na superfície de eletrodo de carbono vítreo. Esse tipo de modificação permitiu determinar loratadina – um anti-histamínico/antialérgico – em amostras biológicas e em comprimidos, o que possibilita conhecer sobre a porcentagem do medicamento que é excretado de forma inalterada no meio ambiente. Sendo assim, esta pesquisa científica indica a utilização de nanotecnologias em diferentes aplicações, por exemplo, para relatar sobre os potenciais riscos quando essa espécie é excretada de forma inalterada no meio ambiente.

Outro foco importante está relacionado aos biossensores, dispositivos idênticos aos sensores, porém com a utilização de espécies biológicas como agente modificador. Esses sensores se baseiam na utilização de anticorpos, ácidos nucleicos, antígenos, enzimas, receptores de drogas, entre outros. A busca por biossensores eletroquímicos voltados para área ambiental tem ganhado destaque atualmente, e a sua capacidade de modificação e de utilização de materiais biológicos como reconhecedores torna o dispositivo ainda mais seletivo, sensível, versátil, com custo relativamente baixo, quando comparado a técnicas cromatográficas, por não requerer processos de pré-tratamento para sua aplicação, ocasionando rapidez das análises, emprego reduzido de reagentes, além da capacidade de análises *in situ* (ALVES; COELHO; PEREIRA, 2020; LIMA *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2021).

Foram encontradas várias pesquisas com esse foco, entre elas, destaca-se a de Singh *et al.* (2021), relacionada ao desenvolvimento de um biossensor eletroquímico aplicando tecnologia à base de nanomateriais (óxido de titânio e dissulfeto de molibdênio) juntamente com a inibição da enzima acetilcolinesterase para detecção de pesticidas organofosforados. Outra produção que merece destaque é a de Lima *et al.* (2018) que aborda diferentes tipos de sensores e biossensores para aplicação em drogas antineoplásicas, tendo como técnica principal aplicada a eletroquímica. Nessa pesquisa, os autores também citam que foram realizadas buscas do ponto de vista de patentes relacionadas ao tema, ou seja, um estudo de prospecção tecnológica, contudo, abordam que é um setor carente e ainda pouco explorado, necessitando de desenvolvimento de mais tecnologias nesse ramo para auxiliar na melhoria da saúde humana e do meio ambiente.

Sendo assim, diante dos aspectos até então mencionados, é possível constatar que diversas pesquisas são desenvolvidas para aplicação, principalmente, no meio ambiente. Porém, estudos de prospecção tecnológica que relatam sobre os registros de patentes e, conseqüentemente, de inovações tecnológicas são raros no âmbito de sensores/biossensores eletroquímicos. Desse modo, há a necessidade da abordagem desses estudos para auxiliar em tomada de decisões para o ramo da pesquisa, ou seja, desenvolver novas tecnologias para tal aplicação, apresentando dados para saber quais pontos podem ser melhorados, bem como novos ramos a serem explorados, contribuindo, assim, para trilhar novos caminhos no desenvolvimento de dispositivos tecnológicos.

Por meio da busca e da apresentação dos resultados de produção científica de artigos, bem como nos registros de patentes depositados nos últimos dez anos, foi possível visualizar o perfil das áreas que produzem esse tipo de sensores/biossensores, além disso, qual o nível de produção e quais os países mais influentes. Assim, a presente pesquisa pretende realizar um

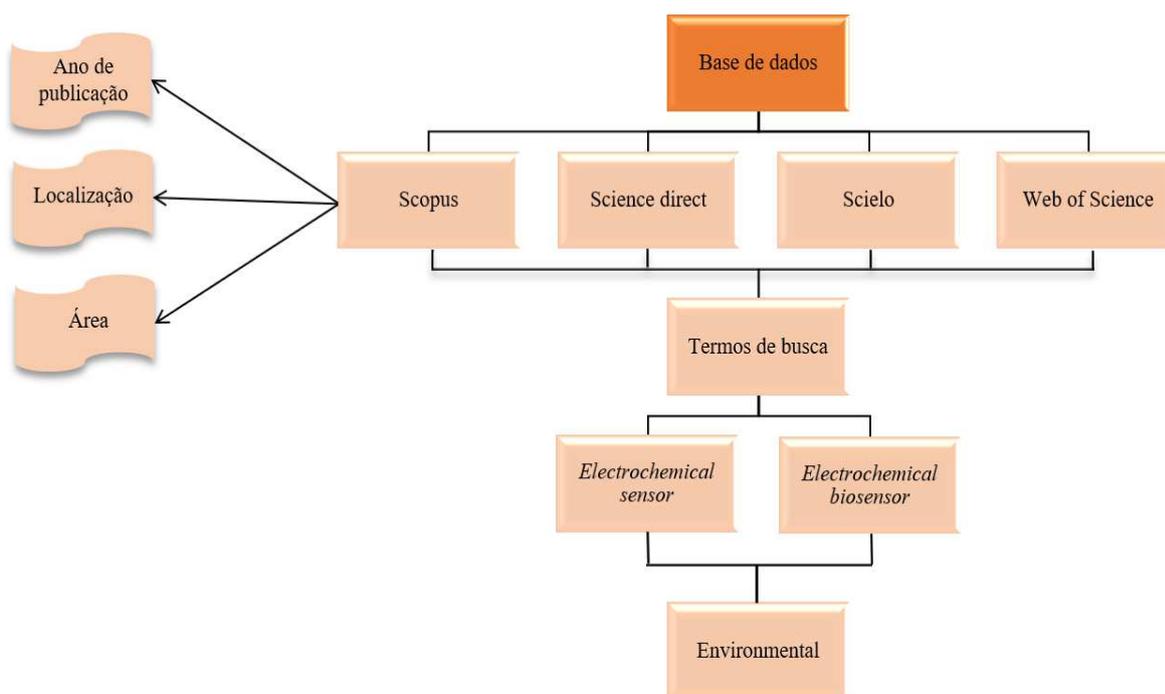
estudo de prospecção tecnológica relacionado ao tema sensores/biossensores eletroquímicos para aplicação ambiental.

2 Metodologia

Esta pesquisa científica foi realizada por meio de um levantamento detalhado sobre o assunto nas plataformas mais completas que armazenam patentes e artigos no mundo. As buscas relacionadas à produção científica em artigos foram realizadas por meio da consulta nas seguintes plataformas: Science Direct, Scopus, Scielo e Web of Science, em janeiro de 2022, fixando o período de busca nos últimos dez anos, de 2012 a 2021. Inicialmente, utilizou-se para as buscas os seguintes termos: “*Electrochemical sensor*” para sensor eletroquímico e “*Electrochemical biosensor*” para biossensor eletroquímico, posteriormente foi introduzido o termo ambiental (*environmental*) para se fazer uma seleção de pesquisas científicas que tivessem interesse comum a esse termo, sendo assim, foram feitas as seguintes buscas: “*Electrochemical sensor environmental*”, “*Electrochemical biosensor environmental*”. Para a plataforma Scielo, empregou-se os termos de buscas contidos no título ou no resumo, para isso, foi utilizado o conectivo “OR”. Na Web of Science, os termos foram pesquisados individualmente em título, resumo e palavras-chaves, bem como de forma combinada empregando “OR”. Por fim, nas plataformas Scopus e Science Direct, os referidos termos foram consultados no título, resumo e palavras-chave especificadas pelos autores.

A plataforma Scopus apresentou maior volume de dados, então decidiu-se utilizá-la como referência na análise aprofundada sobre o ano de publicação, a localização e a área à qual está relacionada. Na Figura 1 é demonstrado o resumo das estratégias de buscas adotadas.

Figura 1 – Fluxograma que demonstra o resumo das buscas realizadas nas plataformas de artigos



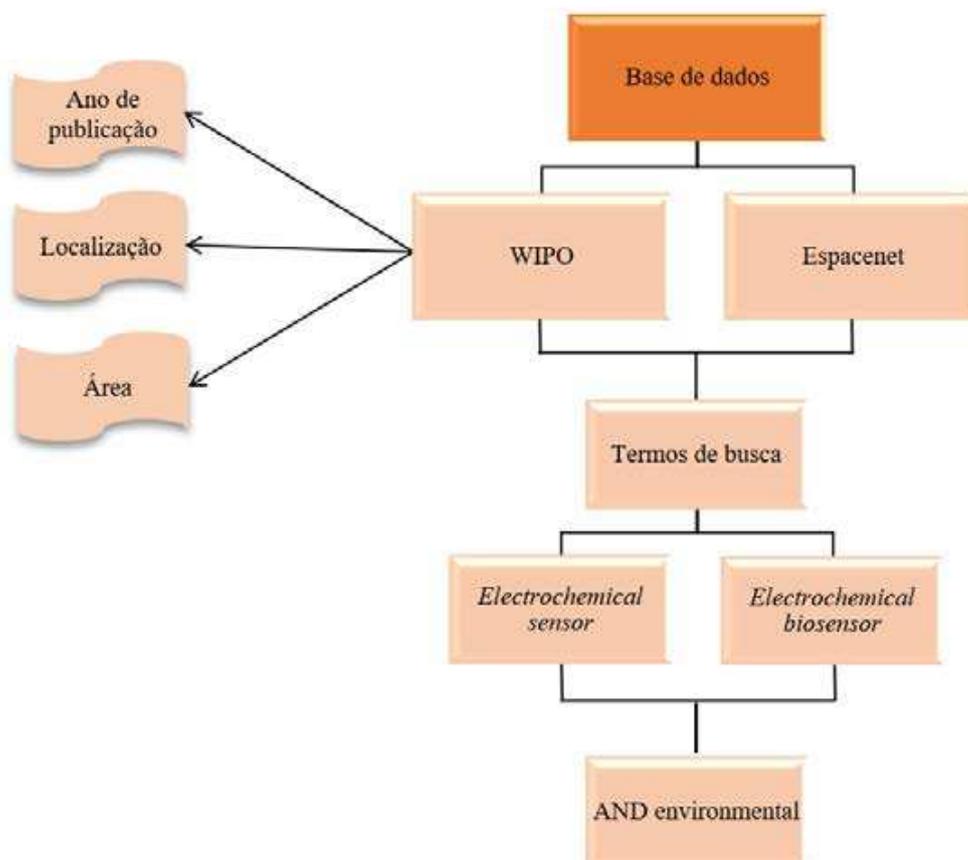
Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Para a pesquisa realizada quanto à prospecção tecnológica, foram escolhidas duas bases de dados de patentes, e, assim, como nos artigos, a busca foi feita em janeiro de 2022 e restrita ao período dos últimos dez anos. A primeira foi a World Intellectual Property Organization (WIPO), que é uma agência de autofinanciamento das Nações Unidas com 193 estados membros. A segunda plataforma foi a Espacenet (European Patent Office – EPO), que disponibiliza acesso gratuito a mais de 130 milhões de patentes de diversos locais do mundo, contando com as patentes nacionais registradas no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), abrangendo cerca de 72 países.

Como estratégia de busca e, conseqüentemente, análise dos dados, na plataforma WIPO, as palavras-chave deveriam estar contidas na primeira página e na Espacenet no título ou resumo. Para ambas as plataformas foram utilizadas as seguintes palavras: “*Electrochemical sensor*” para sensor eletroquímico e “*Electrochemical biosensor*” para biossensor eletroquímico”. Com o intuito de restringir a pesquisa para uma área de interesse, foi adicionado o termo ambiental.

Com os termos restritivos definidos, as buscas foram realizadas utilizando o conectivo “AND”. Desse modo, as palavras-chave são: “*Electrochemical sensor AND environmental*” e “*Electrochemical biosensor AND environmental*”. Além disso, devido à base de dados WIPO ter apresentado maior quantidade de patentes, ela foi utilizada como referencial para as informações sobre ano de publicação, localização e área. O resumo das estratégias de busca adotadas para as patentes é demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma que demonstra o resumo das buscas realizadas nas plataformas de patentes



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

3 Resultados e Discussão

Nesta seção são apresentados os resultados coletados na seguinte ordem, primeiramente, as publicações de artigos científicos e, logo após, os dados referentes aos registros de patentes. A apresentação dos resultados é seguida de uma discussão sucinta a fim de determinar tendências sobre o desenvolvimento da área.

3.1 Análise das Publicações de Artigos Científicos

Para as pesquisas nas bases de dados Scopus, Web of Science, Science Direct e Scielo, foram utilizadas as palavras-chave: “*Electrochemical sensor*” e “*Electrochemical biosensor*” e, em seguida, associadas ao termo “*Environmental*” para especificar o tipo de sensor/biossensor. Assim, esta pesquisa focou em sensor/biossensor eletroquímico ambiental. Na Tabela 1 são apresentados os resultados, e, nela, é possível observar um número expressivo de publicações nas diferentes bases, destacando-se as duas primeiras plataformas, Scopus e a Web of Science. Vale salientar que esses dados são referentes a dez anos (2012-2021). A plataforma Scopus apresentou 37.356 publicações para o termo sensor eletroquímico, enquanto a Web of Science revelou 27.066 publicações, um número menor em cerca de 27,5%. Para o termo biossensor eletroquímico, a Scopus mostrou 13.527 publicações, e a Web of Science 8.358, sendo 38,2% menor. Quando aplicado o termo ambiental, na plataforma Scopus, o número de publicações foi 2.912, indicando uma porcentagem de 7,8% em relação aos vários tipos de sensores eletroquímicos. Enquanto a correlação entre biossensores eletroquímicos à área ambiental foi de 846 publicações, o que representa 6,25%.

Tabela 1 – Quantitativo de artigos científicos encontrados nas bases de dados

Palavras-chave	BASE DE DADOS			
	Scopus	Web of Science	Science direct	Scielo
<i>Electrochemical sensor</i>	37.356	27.066	13.027	69
<i>Electrochemical sensor environmental</i>	2.912	1.758	1.169	2
<i>Electrochemical biosensor</i>	13.527	8.358	6.024	18
<i>Electrochemical biosensor environmental</i>	846	325	388	2

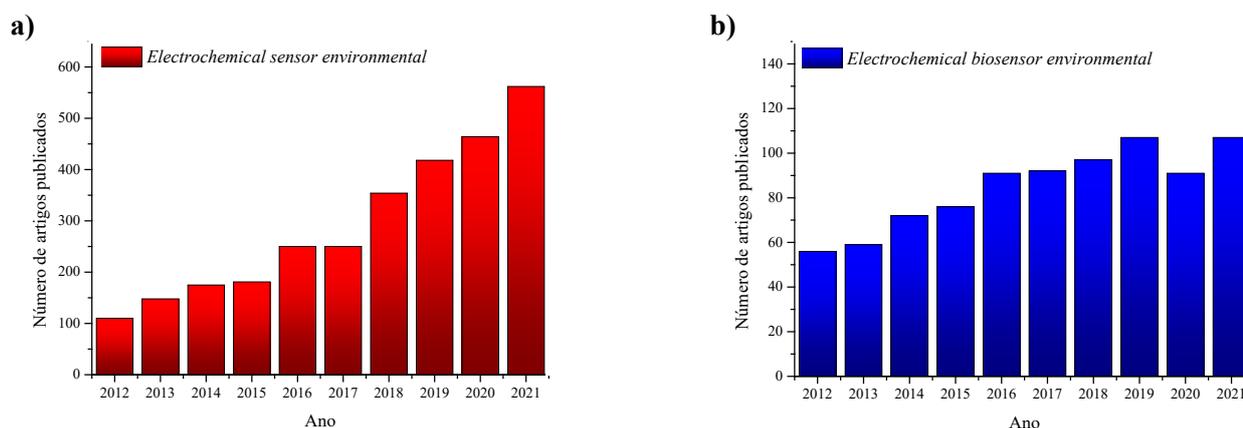
Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Assim, fica claro que há necessidade de desenvolvimento de tecnologias voltadas para a área ambiental, visto que autores como Alves, Coelho e Pereira (2020) descrevem que a contaminação de solos e águas vem aumentando devido ao lançamento de materiais tóxicos e, por consequência, isso desencadeia efeitos deletérios para saúde. Diante disso, estudos que envolvam o monitoramento e o controle dessas espécies são de suma importância para saúde humana e de animais, bem como para o melhoramento de setores produtivos que estão envolvidos.

Na Tabela 1, foi possível notar que a plataforma Scopus apresentou o maior quantitativo de publicações, por esse motivo, ela foi escolhida como padrão para os demais filtros: número de publicações por ano (dez últimos anos), localidade e área que estão relacionadas. Essas

informações coletadas foram resumidas ao ramo ambiental, dado o foco da presente pesquisa científica. Desse modo, no Gráfico 1(a), os resultados são relacionados ao número de publicações por ano para o termo sensor eletroquímico ambiental e, no Gráfico 1(b), os dados estão voltados para o termo biossensor ambiental.

Gráfico 1 – Quantitativo de artigos científicos encontrados na plataforma Scopus por ano considerando os últimos dez anos (2012-2021) para os termos de buscas: *electrochemical sensor environmental* (a) e *electrochemical biosensor environmental* (b)



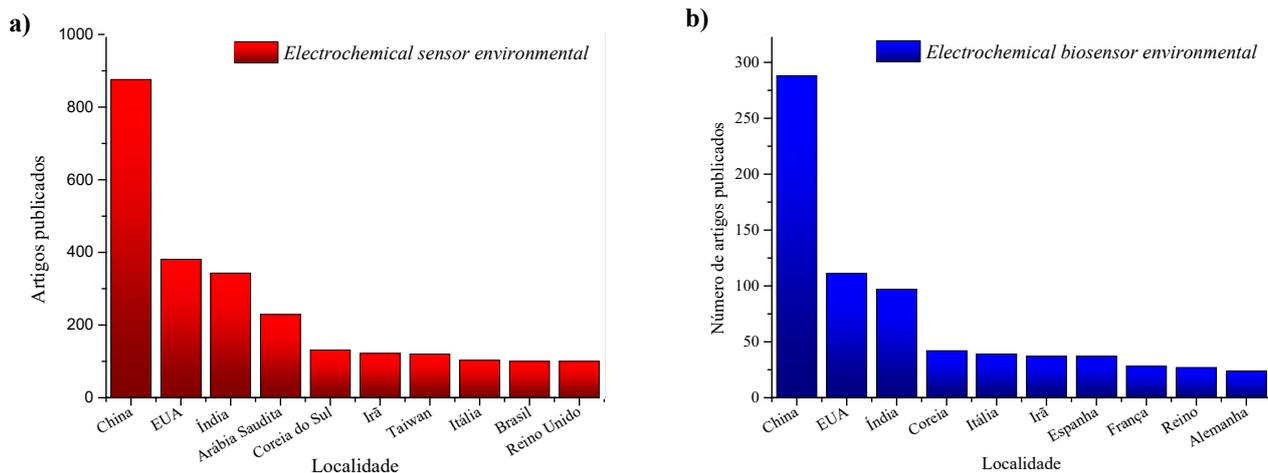
Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

No Gráfico 1(a) é apresentado o número de publicações referente ao termo sensor eletroquímico ambiental, nele percebe-se um crescimento acentuado, sendo que no primeiro ano houve 110 publicações, atingindo seu máximo no último ano com 562 periódicos, um crescimento de mais de cinco vezes. Para o termo biossensor eletroquímico ambiental, nota-se, primeiramente, um número bem menor de publicações, esse resultado pode ser justificado pelo fato de que os biossensores são mais complexos e caros de serem produzidos. Assim, como na busca anterior, foi encontrada uma crescente dos periódicos com o mínimo de publicações em 2012 (56), e o máximo em 2021 com 107 periódicos, um crescimento de duas vezes. Sendo assim, observou-se que há um investimento crescente em ciência, inovação e tecnologia, porém ainda é necessário alavancar esses índices principalmente no desenvolvimento de biomateriais para aplicar no setor ambiental.

Com os dados obtidos ao aplicar um filtro de localidade, foi construído o Gráfico 2. As informações adquiridas demonstram os dez países que mais publicaram. Entre eles, os três com mais publicações científicas foram: China, EUA e Índia. Para sensor eletroquímico ambiental, Gráfico 2(a), em ordem decrescente, tem-se: China (876), EUA (381) e Índia (343), seguidos de Arábia Saudita (229), Coreia do Sul (131), Irã (122), Taiwan (103), Itália (103) e, por fim, os dois últimos, Brasil e Reino Unido com 100 publicações cada. Com o termo de pesquisa biossensor eletroquímico ambiental, Gráfico 2(b), a sequência foi China (288), EUA (111) e Índia (97), logo após, com cerca de 40% do número de publicações da Índia, tem-se a Itália (39), seguida de Irã (37), Espanha (37), França (28), Reino Unido (27) e, por último, a Alemanha (24).

Por meio da análise dessas informações, observou-se que a china apresentou maior número de publicações, em média 2,5 vezes maior que o segundo (EUA) e 2,8 vezes mais que o terceiro (Índia). Diante disso, pode-se afirmar que a China é um dos países que mais investem em ciência, buscam por inovação e tecnologia, desenvolvendo (bio)materiais, os quais podem ser aplicados na área ambiental (TOLLEFSON, 2018; XIE; FREEMAN, 2019).

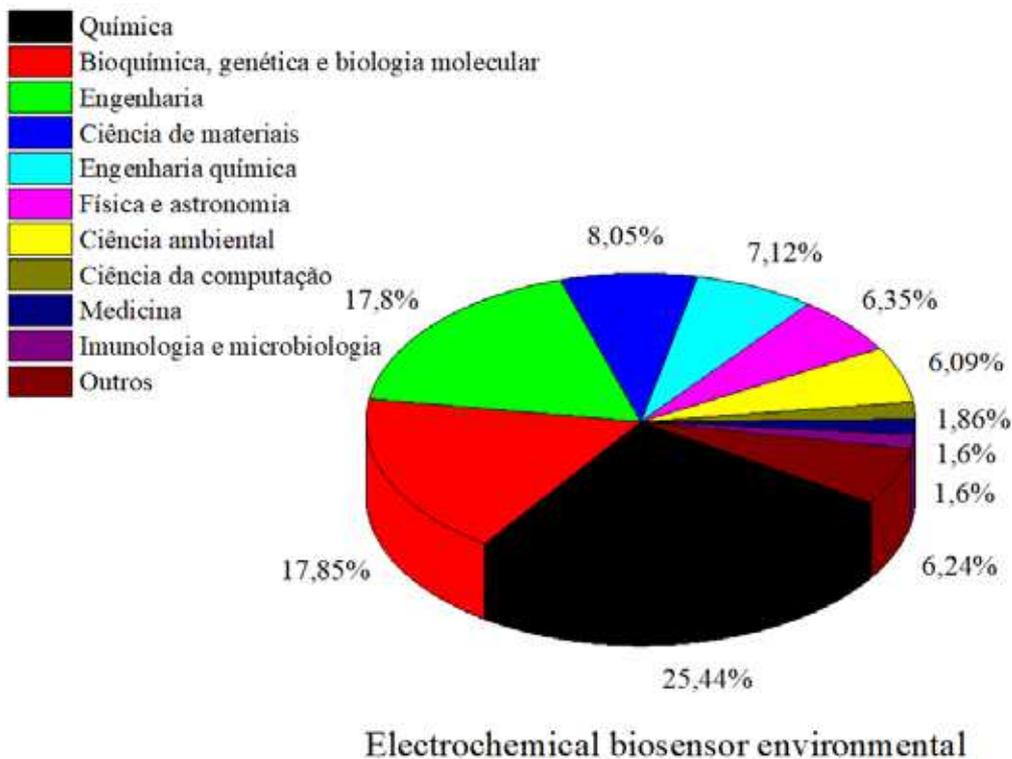
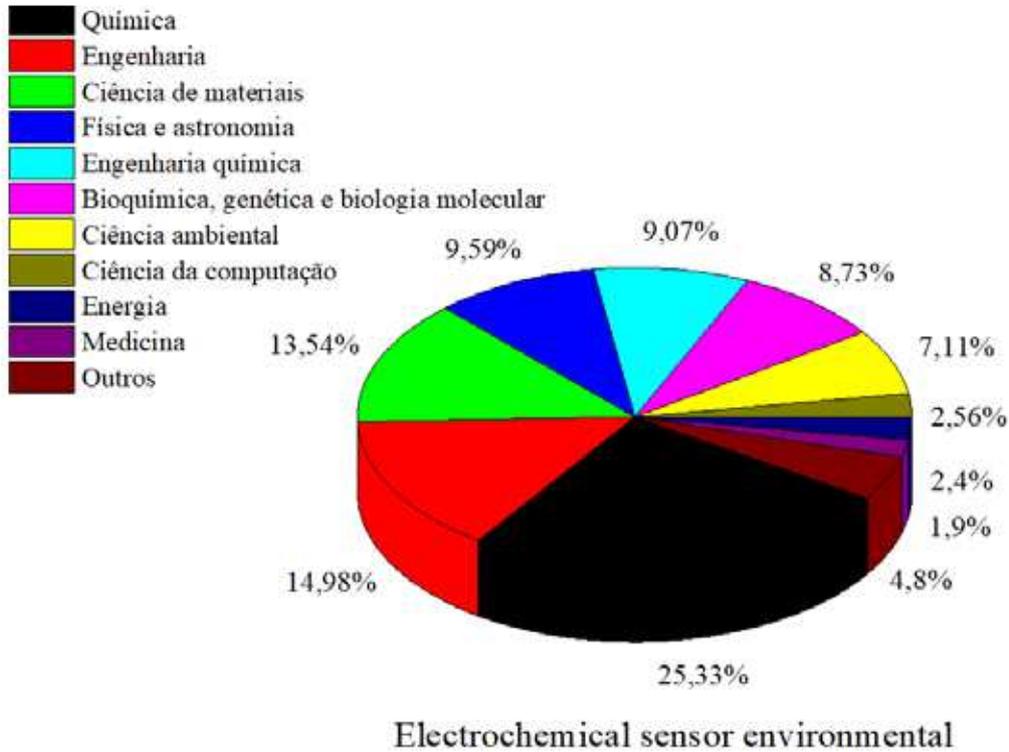
Gráfico 2 – Quantitativo de artigos científicos encontrados na plataforma Scopus em função da localidade da publicação para os termos de buscas: *electrochemical sensor environmental* (a) e *electrochemical biosensor environmental* (b)



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

Um dado importante para a prospecção científica é analisar a quais áreas essas publicações estão atreladas, sendo assim, esses filtros foram aplicados e com os resultados foi construído o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Porcentagens das áreas de publicações provenientes da plataforma Scopus, considerando os anos 2012 a 2021, e relacionadas aos termos de buscas: *electrochemical sensor environmental* (a) e *electrochemical biosensor environmental* (b)



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

Ao analisar o Gráfico 3, é possível notar que, para o termo de busca sensor eletroquímico ambiental, Gráfico 3(a), foi encontrado um número relativamente alto para área de química (1.625-25,33%), seguido de engenharia (961-14,98%) e ciência de materiais (869-13,53%). Esses dados indicam que o desenvolvimento de materiais/nanomateriais tecnológicos nas áreas de química, engenharia e ciência de materiais, para sensores eletroquímicos, estão em evidência. Sendo que essas áreas trabalham sempre de forma integrada quando se trata de desenvolvimento de materiais.

Para o termo de busca biossensor eletroquímico ambiental (“*biosensor electrochemical environmental*”), Gráfico 3(b), as principais áreas foram: química (493-25,44%), bioquímica, genética e biologia molecular (346-17,85%), engenharia (345-17,8%), ciência de materiais (156-8,05%), seguido de outra área importante, engenharia química (138-7,12%). Na mesma linha de raciocínio abordada, a constante síntese de novos materiais/nanomateriais levou ao consenso de que a área de química é a que apresenta maior número de publicações. Além disso, a utilização de espécies biológicas associadas a esses tipos de materiais indicou o motivo da área de bioquímica, genética e biologia molecular ser a segunda com maior número de publicações, e, ainda, o número representativo de publicações nas outras três áreas mencionadas corrobora para ajuda na otimização e na criação de inovações tecnológicas. Cabe ressaltar a pesquisa de Singh *et al.* (2021), nela, os autores desenvolveram um dispositivo tecnológico baseado em nanomateriais – óxido de titânio e dissulfeto de molibdênio – associado à inibição da enzima acetilcolinesterase para determinação de pesticidas organofosforados.

Em geral, diante dos dados demonstrados, observou-se o crescente desenvolvimento de pesquisas tecnológicas em sensores/biossensores eletroquímicos ambientais, porém, ainda há a necessidade de exploração dessas áreas, principalmente envolvendo biossensores. Esse tipo de desenvolvimento colabora para a confiabilidade/eficiência na determinação de espécies de interesse e, conseqüentemente, ajuda a melhorar processos de produção, reduzindo gastos, minimizando a utilização de agroquímicos que possuem efeitos deletérios em solos e em recursos hídricos, evitando problemas para saúde da população. Dessa forma, no próximo tópico, serão abordados pontos relacionados ao número de publicações de patentes, complementando as discussões sobre o desenvolvimento e a inovação de tecnologias.

3.2 Análise das Publicações de Patentes

Nesta seção serão apresentados os dados referentes às buscas de patentes depositadas no período de 2012 a 2021. Para tal, foram utilizadas as palavras-chave abordadas na Tabela 2, na qual se observa que, para os termos sensor eletroquímico e biossensor eletroquímico, o maior quantitativo se deu na plataforma WIPO. De acordo Mendonça *et al.* (2018), as patentes fornecem informações e dão indicativos da possibilidade de transformação do conhecimento científico em produtos ou inovações tecnológicas e ainda são consideradas uma das formas de proteção de propriedade intelectual.

A eletroquímica busca constantemente por materiais/nanomateriais para serem aplicados como agente modificador de EQMs, a fim de possibilitar a expansão de suas aplicações. Nesse sentido, por meio do número de patentes depositadas, foi possível inferir que, para cada uma delas, existe um produto inovador associado e, conseqüentemente, cada sensor/biossensor apresenta uma nova tecnologia.

Dado o foco da presente pesquisa, observou-se que na plataforma Espacenet os termos referentes às tecnologias de sensores e biossensores eletroquímicos associados à área ambiental representaram, respectivamente, 1,60% e 2,10%. Por sua vez, a plataforma WIPO apresentou maior volume de patentes depositadas. Nesse caso, para a busca utilizando o termo sensor eletroquímico ambiental, foram encontradas 225 patentes, representando cerca de 3,35% dos sensores eletroquímicos. Para o termo biossensor eletroquímico ambiental, esse valor foi 1,83% em relação aos biossensores eletroquímicos como um todo. Diante disso, observou-se que existem poucos dispositivos no mercado focados na detecção e na quantificação de moléculas tóxicas no ambiente. Com a crescente demanda por uma agricultura mais sustentável, além da busca por um equilíbrio ambiental global, é de fundamental importância o desenvolvimento de tecnologias simples, práticas e baratas.

Tabela 2 – Quantitativo de patentes depositadas nas bases de dados Espacenet e WIPO

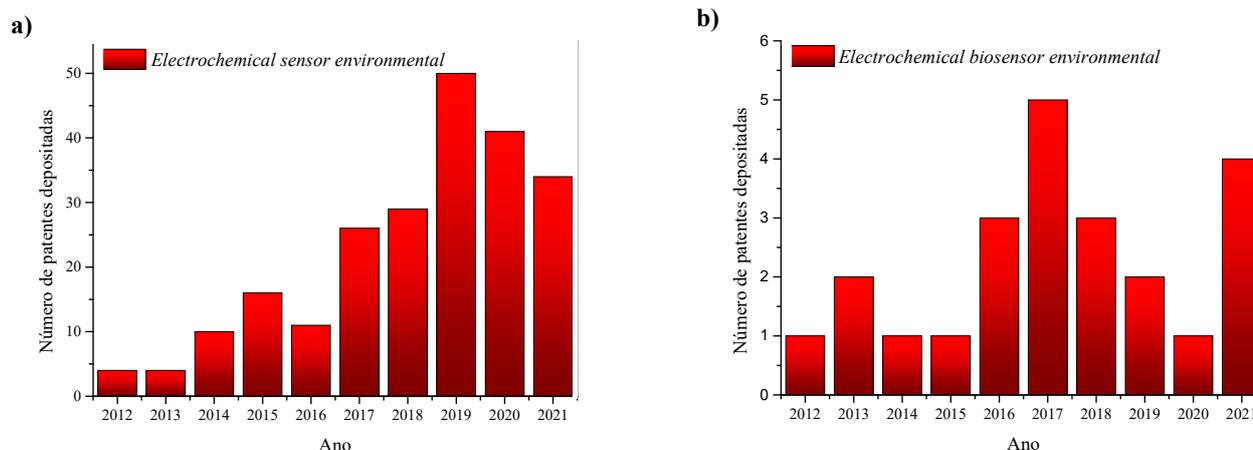
PALAVRAS-CHAVE	BASE DE DADOS	
	ESPACENET	WIPO
<i>Electrochemical sensor</i>	5.295	6.714
<i>Electrochemical sensor environmental</i>	85	225
<i>Electrochemical biosensor</i>	898	1.203
<i>Electrochemical biosensor enviromental</i>	19	22

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Por apresentar um maior número de resultados, a plataforma WIPO foi utilizada para explorar mais informações. Entre elas, quantitativo de patentes por ano no período de 2012 a 2021, distribuição de patentes quanto à Classificação Internacional de Patente (CIP) e, por fim, países dos depositantes.

Inicialmente, foi realizado o levantamento da quantidade de patentes depositadas por ano, no período de 2012 a 2021, os dados foram coletados e organizados no Gráfico 4. No Gráfico 4(a), é possível ver os resultados referentes ao termo sensor eletroquímico ambiental. Pelos dados do Gráfico 4, fica evidente o crescente interesse pela área, na qual se vê que a cada ano o número de patentes depositadas cresce. Foi observado que nos últimos dois anos houve uma queda, porém, esse fato pode estar associado aos dois anos atípicos de pandemia que se passaram. No Gráfico 4(b) são demonstrados os resultados para biossensor eletroquímico ambiental, no qual se nota um pequeno volume de pesquisas. Provavelmente, o baixo interesse se deve ao fato de os biossensores terem materiais mais específicos e, conseqüentemente, custos mais altos. Assim, são sempre pensados para sistemas mais complexos e nobres.

Gráfico 4 – Quantitativo de patentes depositadas oriundas da plataforma WIPO, considerando os anos 2012 a 2021 e relacionadas aos termos de buscas: *electrochemical sensor environmental* (a) e *electrochemical biosensor environmental* (b)

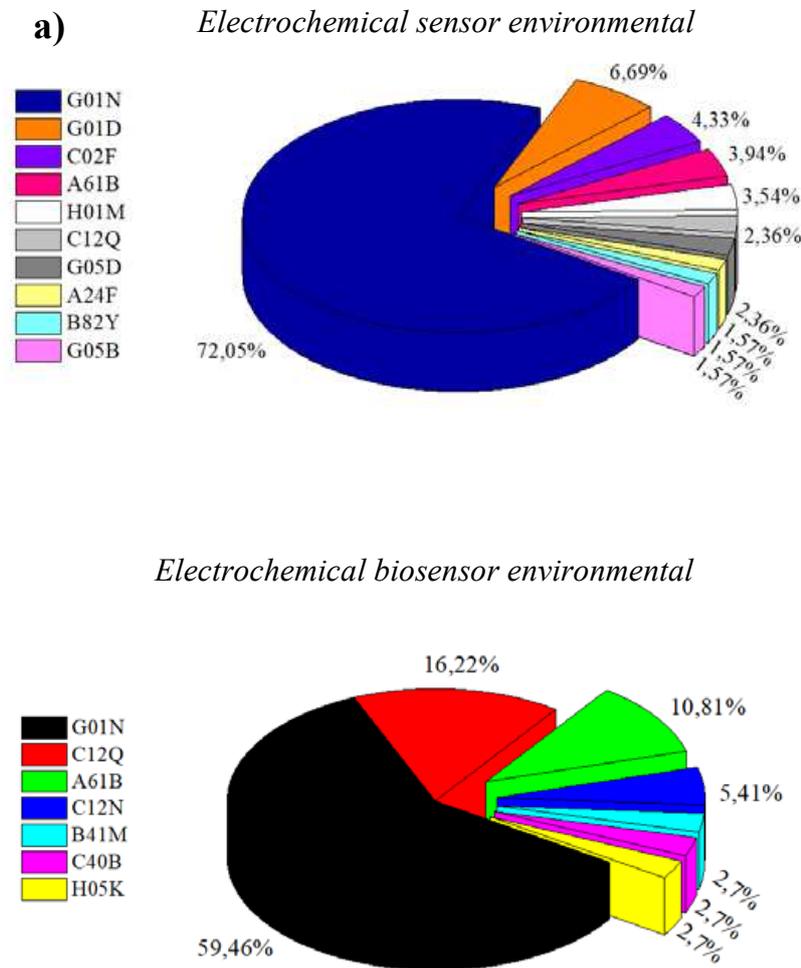


Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

Outro parâmetro utilizado foi a Classificação Internacional de Patentes (CIP), (International Patent Classification – IPC), nela, foi possível observar a diversidade de áreas tecnológicas correlacionadas às patentes. Sendo assim, são determinadas seções da seguinte maneira: A (necessidades especiais); B (operações de processamento; transporte); C (química; metalurgia); D (têxtil; papel); E (construções fixas); F (engenharia mecânica; iluminação; aquecimento; armas; explosão); G (física); e H (eletricidade). Além dessas organizações, foram associados subgrupos para definir especificamente as correlações.

Por meio desse conhecimento, as buscas foram realizadas e o Gráfico 5 foi construído. Inicialmente, a palavra-chave “*Electrochemical sensor environmental*” – sensor eletroquímico ambiental – foi utilizada para buscas das áreas das tecnologias. De acordo com o Gráfico 5(a), a maior parcela das patentes está associada à seção G (física), cerca de 82,7% (210), desses, 72,05% (183) do total correspondem ao subgrupo G01N referente à investigação ou análise de materiais determinando suas propriedades químicas ou físicas, 6,7% é referente ao G01D (medição não especialmente adaptada para uma variável) apresentando 17 patentes, 2,36% do G05D (sistemas de controle ou regulação não elétricas variáveis) com seis patentes e 1,57% (4) do G05B (controle ou regulamentação em geral). Em menor proporção, pode-se citar patentes relacionadas à seção C (química; metalurgia) apresentando um total de 17 depósitos, seção A com 14, seção H com nove e, por fim, a seção B com quatro patentes.

Gráfico 5 – Distribuição das patentes de acordo com a Classificação Internacional de Patentes (CIP) encontrada na WIPO para os termos de buscas: *electrochemical sensor environmental* (a) e *electrochemical biosensor environmental* (b)



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

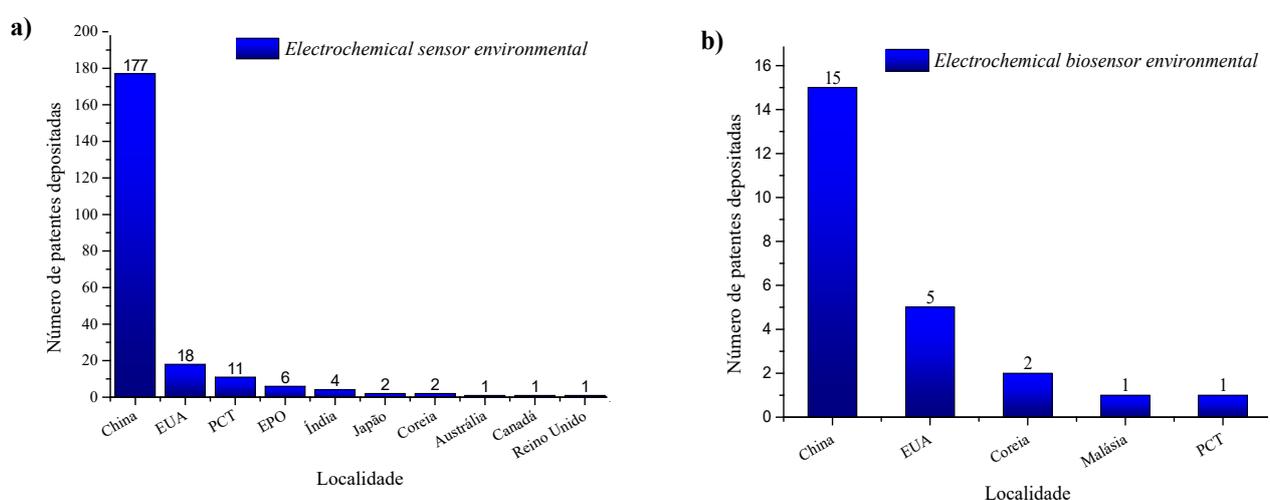
A segunda palavra-chave utilizada na busca associada à CIP, “*electrochemical biosensor environmental*”, biossensor eletroquímico ambiental, apresentou apenas 37 patentes depositadas. Desse número, a maior proporção foi também para a seção G (22) correspondendo a 59,46% e especificamente para o subgrupo G01N que é referente à investigação ou análise de materiais determinando suas propriedades químicas ou físicas. Em segundo e terceiro ficaram a seção C (24,3%) e seção A (10,81%), sendo a primeira com total de nove patentes, e, desse valor, seis corresponderam ao subgrupo C12Q (Processos de medição ou ensaios envolvendo enzimas, ácidos nucleicos ou microrganismos), duas ao C12N (microrganismos ou enzimas; engenharia genética) e uma ao C40B (química combinatória). A segunda, correspondeu a quatro patentes, mais precisamente relacionadas ao A61B (diagnóstico; cirurgia; identificação).

Em ambas as pesquisas, é possível observar que o grande volume de patentes foi destinado ao subgrupo G01N, indicando a sua associação com o desenvolvimento de sensores/biossensores tecnológicos. Na segunda palavra-chave, foram encontradas patentes em quantidade menor de seções quando comparada à primeira, e isso ocorre devido à maior especificidade quando

biomateriais são utilizados. Sendo assim, também se constatou um número relativamente baixo de depósito de patentes para ambos os termos pesquisados. Dessa forma, sugerindo aumento de investimentos que acarretará no desenvolvimento de conhecimento científico e, consequentemente, na transformação em inovações tecnológicas (MENDONÇA *et al.*, 2018).

Por fim, foi avaliado o parâmetro associado à localidade. Esse parâmetro forneceu um indicativo da capacidade de produção tecnológica dos países, ou ainda, da proteção à propriedade intelectual. Vale ressaltar que é comum o compartilhamento de produtos tecnológicos por vários países, o que acarreta no depósito de patentes em diferentes localidades. Sendo assim, por meio das informações colhidas, o Gráfico 6 foi elaborado.

Gráfico 6 – Quantitativo de patentes depositadas na plataforma WIPO em função da localidade para os termos de buscas: *electrochemical sensor environmental* (a) e *electrochemical biosensor environmental* (b)



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2022)

No Gráfico 6(a), observa-se um número elevado de depósito de patentes na China, representando 80% (177) do total, seguido dos EUA com apenas 8% (18), PCT (Tratado de Cooperação de Patentes), no qual 155 países fazem parte, um deles, o Brasil, representando cerca de 5% (11) do total (WIPO, 2022). Além desses, apresenta-se a EPO (European Patent Office) ou IEP (Instituto Europeu de Patentes) com representatividade de 2,7% (6), Índia (4) 1,8%, Japão (2) e Coreia (2), ambos com 0,9% cada, e os três últimos Austrália, Canadá e Reino Unido, cada país com depósito de uma patente e 0,45% de representatividade individual. Para o termo de busca biossensor eletroquímico ambiental, os números e a quantidade de países depositantes apresentaram a mesma tendência do termo anterior. A China, país com maior contribuição, nesse caso 62,5% (15) do total de depósitos de patentes, na segunda colocação, os EUA com cerca de 21% (5), seguido da Coreia 8,3% (2), Malásia (1) e PCT (1), esses dois últimos representando cerca de 4,15% cada.

É notório que para as buscas utilizando esses dois termos genéricos, a China se mostrou mais atuante, tanto em relação ao número de publicações de artigos científicos quanto no depósito de patentes. Vale reiterar que a China é um dos países que mais investem em ciência e, por consequência, no desenvolvimento de inovações tecnológicas (TOLLEFSON, 2018; XIE; FREEMAN, 2019). No ramo ambiental, entende-se que o investimento em tecnologias é essencial

para melhoria da qualidade de vida da população. Uma das formas se dá pelo emprego desses sensores/biossensores eletroquímicos.

China e EUA atualmente são os maiores produtores de tecnologias, e esse fato fica evidente nessa prospecção. Por serem países de grandes áreas agrícolas, é natural que estejam preocupados com a qualidade de sua produção, e isso perpassa com a preocupação pelo seu ecossistema produtivo (solo, águas pluviais, lençóis freáticos), sendo assim, possuir dispositivos que possam atestar a qualidade do ambiente de forma prática e barata é de grande interesse.

Nos depósitos de patentes, o Brasil não apareceu entre os países destacados, apenas no PCT, que engloba 155 países. Mesmo sendo um país que, assim como China e EUA, possui grandes produções agrícolas, já que é o quarto maior produtor de grãos do mundo, além de ser um dos maiores produtores de carnes, não se observou a mesma preocupação com o desenvolvimento de tecnologias para monitoramento ambiental, fato que pode ser explicado pela cultura de comprar tecnologia estrangeira, prática popularizada no agronegócio nacional (ARAGÃO; CONTINI, 2021). Nota-se, assim, uma representatividade mínima para tais termos de buscas, e isso indica carência de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) – um dos indicadores de ciência, tecnologia e inovação, segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (MENDONÇA *et al.*, 2018).

4 Considerações Finais

Os sensores/biossensores eletroquímicos destinados ao ramo ambiental possibilitam constantes melhorias para manutenção de solos, águas e ainda em processos produtivos. Nos dados de publicações de artigos científicos (Scopus), 2.912 publicações remetem a sensores eletroquímicos ambientais, isso representou 7,8% do total de sensores eletroquímicos. Nos biossensores eletroquímicos, a representatividade, comparando com o total, foi de 6,25%. Esses índices, apesar de modestos, indicam que a busca pelo desenvolvimento de pesquisas para tais aspectos está em ascensão. Para o primeiro termo, a média foi de 219,2 publicações por ano, sendo registrado o maior número de publicações em 2021. Para o segundo termo, o perfil foi idêntico, contudo, devido à sua especificidade de aplicação, sua média foi de 84,6 produções por ano e, em 2021, foi um dos ápices de publicações.

Essas publicações foram compreendidas em áreas que refletem na produção de materiais/biomateriais tecnológicos. A maior parcela é classificada na área de química, assim como nas áreas de engenharia e ciências de materiais. Quando se trata de biossensores, a área de bioquímica, genética e biologia molecular representa a segunda maior parcela com 17,85% das publicações, ficando atrás apenas da área de química. Compreendendo todas essas informações, os países que se destacam quanto a esse número de publicações são: China, EUA e Índia. Esses países são alguns dos maiores produtores de alimentos, e, nesse processo, agroquímicos são utilizados, podendo ocasionar contaminações ambientais. O emprego de sensores/biossensores colabora para mapear e reduzir danos nesse setor, e, por meio dessas publicações, são observadas as preocupações desses países para tal. No entanto, o Brasil também está entre os maiores produtores, mas sua aparição ainda é discreta.

Nas análises dos dados dos depósitos de patentes, a plataforma WIPO apresentou-se com maior volume de dados. Empregando os mesmos termos de buscas, 3,35% dos sensores ele-

troquímicos como um todo se referiram ao ramo ambiental e 1,83%, dentro de biossensores, foram aqueles destinados a esse mesmo ramo. No período analisado, 2019, para o primeiro termo, foi o ano de maior depósito de patentes e, nesse mesmo tempo, foi encontrada uma média de 22,5 patentes/ano. Os biossensores apresentaram-se em menor proporção, sua média de 2,2 patentes/ano e seu ápice em 2017 com apenas cinco patentes. Essas patentes foram identificadas quanto à CIP e, de um modo geral, a classificação da seção G foi predominante, mais precisamente para o subgrupo G01N referente à investigação ou análise de materiais, determinando suas propriedades químicas ou físicas, contudo, no termo que envolve biossensores, a seção C também apresentou sua contribuição, pois os subgrupos C12N e C12Q estão envolvidos com biomateriais.

A proteção à propriedade intelectual e o desenvolvimento de inovações tecnológicas associados aos países demonstraram a unanimidade da China para depósitos de patentes, os EUA também foram atuantes, mas neste com valores pouco expressivos. Ambos são países conhecidos por investimento em ciência, tecnologia e inovação e, por consequência, conseguem converter o conhecimento científico em um produto tecnológico.

Desse modo, a referente pesquisa demonstrou a importância do conhecimento das publicações de artigos científicos e das patentes para o referido tema e o indicativo de crescimento nessas produções, porém, percebeu-se, também, a importância de se desenvolver ainda mais artigos e produtos tecnológicos/patentes para suprir a necessidade ambiental global.

5 Perspectivas Futuras

O crescente número da população mundial juntamente com a necessidade de produção de alimentos para suprir tal fator incide sobre o aumento da utilização de agrotóxicos com intuito de melhorar e de tornar mais eficiente a sua produção. Associado a isso, efeitos deletérios causados pela má manipulação ou aplicação são observados, e a cobrança pelo controle e quantificação dessas substâncias no meio ambiental (solo, água e alimentos) é constantemente intensificada. A utilização de técnicas eletroquímicas é amplamente empregada, e o desenvolvimento de sensores/biossensores ou ainda materiais/biomateriais tecnológicos para se utilizar nos EQMs é de grande interesse atualmente.

Nesse norte, é necessário o desenvolvimento de produtos tecnológicos na área ambiental e de estudos que possibilitem inferir sobre as espécies tóxicas mais encontradas no meio ambiente, abordando precisamente sobre as tecnologias/nanotecnologias que são aplicadas nas técnicas eletroquímicas, por exemplo: nanotubos de carbono, grafeno, nanopartículas de ouro, modificações genéticas em enzimas e ácidos nucleicos na parte de biomateriais são imprescindíveis. E, além disso, é importante ter conhecimento das matrizes de análises e das principais áreas de conhecimento em que os sensores/biossensores eletroquímicos estão inseridos.

Sendo assim, o contínuo desenvolvimento dessas tecnologias permite reconhecer as lacunas nos processos de produção, corroborando para a tomada de decisão mais assertiva. Dessa forma, melhora-se os sistemas produtivos, tornando-os cada vez mais sustentáveis e eficientes para suprir as necessidades da indústria e da população.

Referências

- ALVES, C. C.; COELHO, M. K. L.; PEREIRA, A. C. Electrochemical Sensors Based on Different Materials for the Determination of Pesticides. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 12, n. 6, p. 1.599-1.625, 2020.
- ARAGÃO, A.; CONTINI, E. **O Agro no Brasil e no Mundo**: uma síntese do período de 2000 a 2020. [2021]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>. Acesso em: 18 mar. 2022.
- COELHO, M. K. L.; GIAROLA, J. F.; PEREIRA, A. C. Electrochemical sensors based on polymers printed molecularly and the determination of drugs in pharmaceutical and biological samples. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 1.180-1.206, 2018.
- HUANG, L. *et al.* Electrochemical vitamin sensors: a critical review. **Talanta**, [s.l.], v. 222, p. 121645, August, 2021.
- LIMA, H. R. S. *et al.* Electrochemical sensors and biosensors for the analysis of antineoplastic drugs. **Biosensors and Bioelectronics**, [s.l.], v. 108, p. 27-37, 2018.
- LIU, X. *et al.* Novel nanoarchitecture of Co-MOF-on-TPN-COF hybrid: Ultralowly sensitive bioplatform of electrochemical aptasensor toward ampicillin. **Biosensors and Bioelectronics**, [s.l.], v. 123, p. 59-68, 2019.
- MAGESA, F. *et al.* Graphene and graphene like 2D graphitic carbon nitride: Electrochemical detection of food colorants and toxic substances in environment. **Trends in Environmental Analytical Chemistry**, [s.l.], v. 23, p. e00064, 2019. MENDONÇA, V. M. *et al.* Indicadores Nacionais e Internacionais de Ciência, Tecnologia & Inovação. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 11, n. 5, p. 1.293-1.304, 2018.
- PORFÍRIO, F. F. O.; GIAROLA, J. D. F.; PEREIRA, A. C. Biosensor and beverages - review. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 8, n. 5, p. 1.366-1.391, 2016.
- ROUSHANI, M.; MOHAMMADI, F.; VALIPOUR, A. Electroanalytical sensing of asulam based on nanocomposite modified glassy carbon electrode. **Journal of Nanostructures**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 128-139, 2020.
- ROUSHANI, M. *et al.* Development of novel electrochemical sensor on the base of molecular imprinted polymer decorated on SiC nanoparticles modified glassy carbon electrode for selective determination of loratadine. **Materials Science and Engineering C**, [s.l.], v. 71, p. 1.106-1.114, 2017.
- SAMSIDAR, A.; SIDDIQUEE, S.; SHAARANI, S. M. A review of extraction, analytical and advanced methods for determination of pesticides in environment and foodstuffs. **Trends in Food Science and Technology**, [s.l.], v. 71, p. 188-201, 2018.
- SHI, L. *et al.* A highly sensitive and reusable electrochemical mercury biosensor based on tunable vertical single-walled carbon nanotubes and a target recycling strategy. **Journal of Materials Chemistry B**, [s.l.], v. 5, n. 5, p. 1.073-1.080, 2017.
- SINGH, A. P. *et al.* Detection of pesticide residues utilizing enzyme-electrode interface via nano-patterning of TiO₂ nanoparticles and molybdenum disulfide (MoS) nanosheets. **Process Biochemistry**, [s.l.], v. 108, p. 185-193, 2021.

TOLLEFSON, J. China declared largest source of research articles. **Nature**, [s.l.], v. 553, n. 7.689, p. 390, 2018.

WIPO – WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. **Países pertencentes ao PCT**. 2022. Disponível em: https://www.wipo.int/pct/pt/pct_contracting_states.html. Acesso em: 18 mar. 2022.

WONG, A. *et al.* A new electrochemical platform based on low cost nanomaterials for sensitive detection of the amoxicillin antibiotic in different matrices. **Talanta**, [s.l.], v. 206, p. 120252, 2020.

XIE, Q.; FREEMAN, R. B. Bigger Than You Thought: China's Contribution to Scientific Publications and Its Impact on the Global Economy. **China and World Economy**, [s.l.], v. 27, n. 1, p. 1-27, 2019.

Sobre os Autores

Allysson Roberto Barbosa de Lima

E-mail: allyssonlima7@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2081-6552>

Mestre em Ciências pela Universidade Federal de Alagoas em 2017.

Endereço profissional: Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões, Tabuleiro dos Martins, Maceió, AL. CEP: 57072-970.

Ângladiis Vieira Delfino

E-mail: angladisquim@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3174-3611>

Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Alagoas em 2018.

Endereço profissional: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Rua Gileno de Sá Oliveira, n. 271, Recanto dos Pássaros, Barreiras, BA. CEP: 47808-006.

Fabiane Caxico de Abreu

E-mail: caxico.fabiane@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9723-414X>

Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pernambuco/Universidade de Coimbra, Portugal em 2011.

Endereço profissional: Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões, Tabuleiro dos Martins, Maceió, AL. CEP: 57072-970.