

## ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE BATERIAS DE METAL-AR NA BASE DE DADOS WEB OF SCIENCE

### **BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC PRODUCTION ON METAL-AIR BATTERIES IN THE WEB OF SCIENCE DATABASE**

GABRIEL ALEXSANDRO RAMOS<sup>1</sup>; FRANCISCO ANTONIO LOTUFO<sup>2</sup>; ANTONIO FARIA NETO<sup>3</sup>  
1; 2; 3 – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELÉTRICA - GUARATINGUETÁ  
*gabrielalexandro.ramos@outlook.com; falotuf@feg.unesp.br; antfarianeto@gmail.com*

**Resumo** – Com os recentes avanços no desenvolvimento de veículos elétricos, tornou-se necessária a busca por baterias com densidades máximas de energia maiores. Nesse contexto, as baterias de metal-ar atraíram o interesse da comunidade científica devido aos seus altos valores de densidade energética teórica. O objetivo deste trabalho visa acompanhar a evolução tecnológica das baterias de metal-ar através da análise bibliométrica. Os dados analisados foram retirados da base *Web of Science*, considerando-se publicações entre 1968 e 2017. Foram encontrados 3899 registros que abordam o referido tema, escritos por 7801 autores de 65 nacionalidades diferentes. Resultados da análise mostram que as baterias de metal-ar ainda estão em fase inicial de desenvolvimento e que permanecem interessantes à comunidade acadêmica, com um consistente crescimento do número de publicações desde 2009.

**Palavras-chave:** Análise Bibliométrica. Baterias de Metal-ar. Base de Dados Ciência na Web.

**Abstract** – With the recent advances on the development of electric vehicles, the search for batteries with higher maximum energy density was made necessary. In this context, the metal-air batteries attracted much interest from the scientific community due to its high theoretical energy density values. The goal of this work is to monitor the technological evolution of metal-air batteries through bibliometric analysis. The analyzed data were gathered from the *Web of Science* database, with publications ranging between 1968 and 2017. Were found 3899 records that address the said topic, written by 7801 authors from 65 different nationalities. Results of the analysis prove that the metal-air batteries are still in the initial phase of development and remain interesting to the academic community, with a consistent growth in the number of publications since 2009.

**Keywords:** Bibliometric Analysis. Metal-air Batteries. *Web of Science*.

#### I. INTRODUÇÃO

As baterias são dispositivos capazes de converter a energia química contida em seus materiais ativos diretamente em energia elétrica por meio de uma reação eletroquímica de oxidação-redução (LINDEN, 2002, p. 1.3). Sua capacidade de armazenar energia elétrica faz com que a bateria seja empregada em um grande número de aplicações, desde dispositivos móveis (celulares e *notebooks*) e veículos elétricos movidos a bateria (BEV), até em nivelamento de carga e em fontes de alimentação ininterruptas (UPS).

Atributos desejáveis a esses dispositivos incluem longa vida útil, operação em uma larga faixa de temperatura, menor espaço ocupado possível e facilidade no descarte. A fim de encontrar a melhor bateria para cada aplicação, são pesquisadas e testadas diferentes combinações de eletrodos e eletrólitos.

A bateria de metal-ar é uma das mais recentes tecnologias em armazenamento de energia elétrica. É composta rudimentarmente de quatro partes: ânodo metálico, eletrólito, separador e cátodo de ar (ZHANG *et al.*, 2016).

Baterias tais como lítio-ar, zinco-ar, magnésio-ar, alumínio-ar e sódio-ar têm se mostrado fortes candidatas a alimentar futuras gerações de veículos elétricos por conta de sua alta densidade de energia teórica, que pode ser de duas a dez vezes maior que a das baterias de íon-lítio (ZHANG *et al.*, 2016). Porém, existem desafios a serem superados no desenvolvimento dessas tecnologias, como a diminuição na incidência de corrosão do eletrodo de metal, na formação de dendritos e a busca de um eletrólito estável e com boa condutividade (HARDWICK; DE LEÓN, 2018).

Para que se tenha uma melhor visão do estado de desenvolvimento de uma tecnologia, torna-se necessário reunir indicadores que demonstrem a quantidade e o impacto da produção acadêmica sobre ela. Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise quantitativa da produção científica sobre as baterias de metal-ar, utilizando-se dos registros presentes na base de dados da *Science Citation Index* da *Web of Science*.

#### II. METODOLOGIA

**Ferramenta utilizada:** A pesquisa foi realizada através da principal coleção da base *Web of Science*, restrita ao índice de citação *Science Citation Index Expanded* e a documentos datados de 1968 a 2017, independentemente do idioma.

**Definição das palavras-chave:** As palavras-chave foram definidas de modo a buscar pelas tecnologias de baterias de metal-ar que trouxeram mais resultados do banco de dados dentro período considerado. As seguintes palavras-chave foram escolhidas: "metal-air batter\*", "metal-o-2 batter\*", "metal-oxygen batter\*", "li-air batter\*", "li-o-2 batter\*", "li-oxygen batter\*", "lithium-air batter\*", "lithium-

o-2 batter\*", "lithium-oxygen batter\*", "zn-air batter\*", "zinc-air batter\*", "zinc-o-2 batter\*", "zn-o-2 batter\*", "mg-air batter\*", "magnesium-air batter\*", "mg-o-2 batter\*", "al-air batter\*", "aluminum-air batter\*", "na-o-2 batter\*", "na-air batter\*", "sodium-air batter\*", "sodium-oxygen batter\*". O caractere "\*" é utilizado para que a ferramenta procure por *battery* e também por *batteries*.

**Tratamento dos dados:** Os dados foram reunidos e tratados através do software Microsoft Excel 2013. A ferramenta foi utilizada para a construção dos gráficos, tabelas e do modelo matemático de crescimento acumulado das publicações apresentado na próxima seção.

### III. RESULTADOS

Foi quantificada a produção bibliográfica sobre as baterias de metal-ar, categorizada pelos anos das publicações, pelos autores, suas respectivas nacionalidades e as instituições às quais estão vinculados.

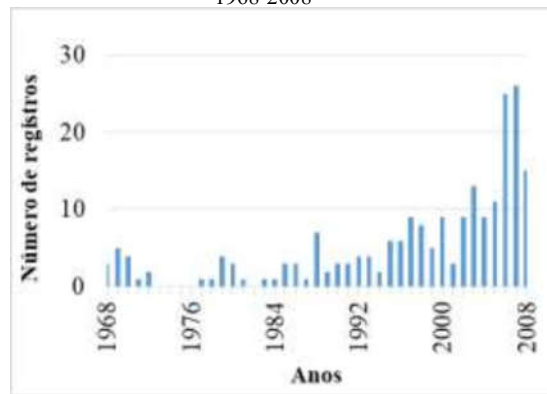
Tabela 1 – Produção científica anual sobre baterias de metal-ar

Anos de publicação	Registros	Acumulado	% de 3899	Anos de publicação	Registros	Acumulado	% de 3899
1968	3	3	0,08	1996	6	71	0,2
1969	5	8	0,13	1997	9	80	0,2
1970	4	12	0,1	1998	8	88	0,2
1971	1	13	0,03	1999	5	93	0,1
1972	2	15	0,05	2000	9	102	0,2
1976	1	16	0,03	2001	3	105	0,1
1978	1	17	0,03	2002	9	114	0,2
1979	4	21	0,1	2003	13	127	0,3
1980	3	24	0,08	2004	9	136	0,2
1981	1	25	0,03	2005	11	147	0,3
1983	1	26	0,03	2006	25	172	0,6
1984	1	27	0,03	2007	26	198	0,7
1985	3	30	0,08	2008	15	213	0,4
1986	3	33	0,08	2009	29	242	0,7
1987	1	34	0,03	2010	68	310	1,7
1988	7	41	0,18	2011	106	416	2,7
1989	2	43	0,05	2012	207	623	5,3
1990	3	46	0,08	2013	373	996	9,6
1991	3	49	0,08	2014	459	1455	11,8
1992	4	53	0,1	2015	683	2138	17,5
1993	4	57	0,1	2016	795	2933	20,4
1994	2	59	0,05	2017	966	3899	24,8
1995	6	65	0,15				

Nota-se nos dados da tabela 1 um gradual aumento na média de publicações por ano através das décadas, e um aumento drástico na quantidade de registros a partir de 2010. Tem-se, respectivamente, para as décadas de 70, 80, 90 e 2000, médias de 2,17, 2,44, 5 e 14,9 registros ao ano. Já no período de 2010-2017 a média aumenta para 457,13 registros ao ano, sendo que as publicações desse período somam 93,79 % dos resultados obtidos nessa base.

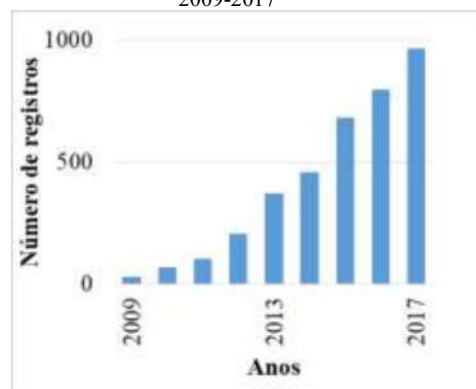
Os gráficos representados nas figuras 1 e 2 mostram os perfis quantitativos das publicações sobre esse tipo de bateria nos períodos de 1968-1990 e de 1991-2017, respectivamente.

Figura 1 – Perfil quantitativo das publicações entre os anos 1968-2008



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2 – Perfil quantitativo das publicações entre os anos 2009-2017



Fonte: Dados da pesquisa.

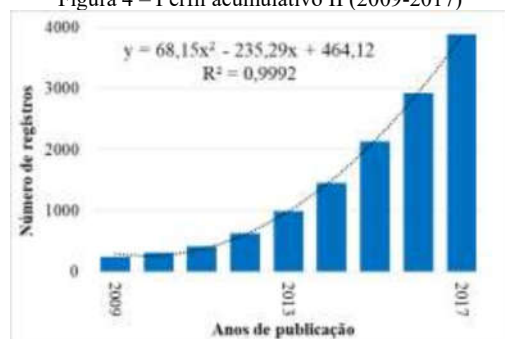
Os gráficos a seguir representados nas figuras 3 e 4 demonstram os perfis acumulativos das publicações. O perfil 1 referente ao período de 1968-2008 e o perfil 2 ao período de 2009-2017.

Figura 3 – Perfil acumulativo I (1968-2008)



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4 – Perfil acumulativo II (2009-2017)



Fonte: Dados da pesquisa.

A partir dos perfis, é possível obter modelos matemáticos do crescimento acumulado de publicações para o perfil I (polinômio de grau 3, com  $R = 0,9936$ ) e II (polinômio de grau 2, com  $R = 0,9992$ ), representados pelas equações (1) e (2), respectivamente:

$$y = 0,0061x^3 - 0,2198x^2 + 3,6694x - 0,4826 \quad (1)$$

$$y = 68,15x^2 - 235,29x + 464,12 \quad (2)$$

Onde:

x: anos (1968-2008) = (1-41) e (2009-2017) = (1-9);

y: número acumulado de registros.

Observa-se na figura 3 que a curva muda de perfil em torno da década de 90, período no qual a taxa de crescimento começa a aumentar. Analisando-se a figura 4, observa-se que a partir de 2009 o número de publicações aumenta drasticamente, indicando maior interesse nas baterias de metal-ar.

Em razão do alto coeficiente de correlação do modelo matemático representado pela equação (2), pode-se prever o número de publicações para o ano de 2018, que resulta em aproximadamente 1063 publicações. São 61 publicações a mais que no ano de 2017, o que indica uma desaceleração na taxa de crescimento do número acumulado de publicações, já que do ano 2016 para 2017 a diferença foi de 171 publicações.

Na Tabela 2 estão representados os dez autores com maior número de publicações, sendo que juntos são responsáveis por 14,2 % dos registros. O autor que mais publicou foi Zhou HS com 76 registros e o mais citado foi Shao-Horn Y, com 4539 citações.

Tabela 2 – Os 10 autores que mais publicaram artigos sobre o tema

Autores	Instituto	Registros	Citações
ZHOU HS	National Institute Of Advanced Industrial Science Technology	76	1608
CHEN J	Nankai University	71	3078
LI J	University Of Waterloo	60	661
SHAO-HORN Y	Massachusetts Institute Of Technology	60	4539
AMINE K	Argonne National Laboratory	52	2455

Autores	Instituto	Registros	Citações
SUN YK	Hanyang University	50	2849
WANG Y	Washington State University	49	2271
WANG J	Huazhong University of Science and Technology	46	1489
YANG J	Nankai University	45	379
LU J	Argonne National Laboratory	44	1084

A Tabela 3 apresenta as instituições que mais publicaram sobre as baterias de metal-ar. A Academia Chinesa de Ciências fica em primeiro lugar com 370 registros e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) é o mais citado, com 9204 citações.

Tabela 3 – Os 10 institutos com maior número de publicações

Instituto	Registros	% de 3899	Citações
<i>Chinese Academy of Sciences</i>	370	9,49	5624
<i>United States Department of Energy</i>	271	6,951	9204
<i>University of Chinese Academy of Sciences</i>	139	3,565	2630
<i>University of Chicago</i>	101	2,59	4163
<i>Argonne National Laboratory</i>	100	2,565	4162
<i>University of Science Technology</i>	92	2,36	1089
<i>Nankai University</i>	84	2,154	3206
<i>National Institute of Advanced Industrial Science Technology</i>	82	2,103	1861
<i>Massachusetts Institute of Technology</i>	80	2,052	4770
<i>Fudan University</i>	79	2,026	1771

Observa-se na tabela 4 o número de artigos publicados por cada país e sua respectiva participação no total, sendo a maioria de origem chinesa (1626 registros). Ao somar as porcentagens de contribuição de cada país ao número total de 3899 artigos, encontra-se o resultado de 123 %. O excedente (23 %) representa aproximadamente 896 artigos, são frutos de colaboração entre dois ou mais países.

Tabela 4 – Os países que mais publicaram sobre as baterias de metal-ar

Países/Territórios	Registros		Países/Territórios	Registros	
		% de 3899			% de 3899
China	1626	41,7	Espanha	54	1,4
Estados Unidos	944	24,2	Taiwan	47	1,2
Coréia do Sul	455	11,7	Suécia	36	0,9
Japão	317	8,1	Suíça	34	0,9
Alemanha	250	6,4	Dinamarca	33	0,8
Canadá	165	4,2	Escócia	33	0,8
Austrália	158	4,1	Rússia	28	0,7
Inglaterra	126	3,2	Turquia	26	0,7
Singapura	121	3,1	Arábia Saudita	24	0,6
Itália	74	1,9	Argentina	21	0,5
Índia	73	1,9	Irlanda do Norte	18	0,5
França	64	1,6	Áustria	15	0,4
Israel	55	1,4			

As fontes de publicação dos artigos incluem revistas e boletins. A Tabela 5 apresenta as dez fontes que mais publicaram, onde encontra-se em primeiro lugar o *Journal of Power Sources*, com 303 registros. A respeito do número de citações, permanece à frente a revista *Energy Environmental Science* com 5308 citações.

Tabela 5 – As 10 fontes que mais publicaram artigos sobre as baterias de metal-ar

Fontes	Registros	% de 3899	Citações
Journal Of Power Sources	303	7,77	5121
Journal Of Materials Chemistry	264	6,77	35
Journal Of The Electrochemical Society	224	5,75	3942
Electrochimica Acta	218	5,59	2800
Acs Applied Materials Interfaces	151	3,87	2046
Journal Of Physical Chemistry	123	3,16	2248
Rsc Advances	101	2,59	588
Abstracts Of Papers Of The American Chemical Society	82	2,10	2
Chemical Communications	81	2,08	1881
Energy Environmental Science	78	2,001	5308

A Tabela 6 apresenta o número de vezes que cada termo apareceu no título de alguma publicação sobre baterias de metal-ar. Foi colocado em foco o período de 2003-2017 para melhor visualização das mudanças recentes no número de registros.

Tabela 6 – Números de títulos contendo cada palavra-chave em períodos recentes

Palavras-chave	2003 - 2007	2008- 2012	2013- 2017
"Li-*" ou "lithium-*"	12	286	1648
"Al-*" ou "aluminum-*"	7	8	99
"Mg-*" ou "magnesium-*"	1	3	56
"Zn-*" ou "zinc-*"	63	29	282
"Na-*" ou "sodium-*"	0	2	136
Electrolyte	4	52	241
Catalyst ou catalysts	8	54	504
Rechargeable	3	68	396
Vehicle	2	0	3
Cathode	5	29	355
Corrosion	0	0	13

É possível observar que os prefixos “Li-” e “lithium-” são os que aparecem mais vezes nos títulos dos artigos em comparação com os demais metais tabelados, com um crescimento de 1363,3 % de 2003 a 2017. Embora menor, nota-se também um aumento no interesse por outros metais, indicando que alternativas ao anodo lítio estão sendo pesquisadas.

Destaca-se também o aumento no número de títulos onde aparecem as palavras *electrolyte*, *catalyst* ou *catalysts*, *cathode* e *rechargeable*. Isso indica que vários aspectos construtivos e funcionais das baterias de metal-ar ainda estão sendo pesquisados, como eletrólitos, catalizadores e cátodos adequados, além da propriedade das baterias de serem recarregáveis.

O termo *vehicle* aparece apenas em 3 títulos número de títulos, não acompanhando o crescimento das publicações sobre baterias de metal-ar. Já o termo *corrosion* apresentou um pequeno aumento no período de 2013-2017, em 13 títulos.

#### IV. CONCLUSÃO

Registros de artigos sobre as baterias de metal-ar datam desde 1968, foi a partir de 2009 que número de publicações sobre o tema sofreu um acentuado crescimento. Embora modelo matemático apresentado na equação (2) projete uma desaceleração na taxa de crescimento para o ano de 2018, o alto número de publicações anuais sobre o tema e a considerável cooperação entre países no estudo das baterias demonstra a viabilidade em desenvolvê-las.

O alto número de citações dos artigos (tabelas 2, 3 e 5) relacionados ao tema demonstra o grande impacto das publicações. Esse impacto se estende até mesmo a estudos não relacionados às baterias de metal-ar, uma vez que o número de citações frequentemente ultrapassa o número de resultados encontrados na base através das palavras-chave (3899 registros).

Observa-se na tabela 6 que, de 2008 a 2017, aumentou a pesquisa sobre componentes construtivos e também sobre a reversibilidade das baterias de metal-ar. Tal perfil indica que essa tecnologia baterias ainda se encontra em estado inicial de desenvolvimento, fase na qual são buscadas diferentes soluções para a consolidação de um produto funcional e que supra a necessidade de suas aplicações.

## V. REFERÊNCIAS

HARDWICK, Laurence J.; DE LEÓN, Carlos Ponce. Rechargeable Multi-Valent Metal-Air Batteries. **Johnson Matthey Technology Review**, v. 62, n. 2, Abr/2018, p. 134-149. ISSN 2056-5135. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com.ez87.periodicos.capes.gov.br/content/matthey/jmtr/2018/00000062/00000002/art00002>>. Acesso em 18 maio 2018.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B. **Handbook of Batteries**. 3. ed. Nova York: McGraw-Hill Professional, 2001. 1200 p.

ZHANG, X.; WANG, X.; XIE, Z.; Zhou, Z. Recent progress in rechargeable alkali metal-air batteries. **Green Energy & Environment**, v. 1, n. 1, Abr/2016, p. 4-17. ISSN 2468-0257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246802571630019X>>. Acesso em 17 mai 2018.

## VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

*Submetido em: 29/06/2018*  
*Aprovado em: 11/10/2018*