

SENSORIAMENTO REMOTO DE MATERIAL PARTICULADO E AEROSSÓIS: ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA

Tatiane Ferreira Olivatto

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana
São Carlos, SP, Brasil
tatianelivatto@ufscar.br

Regiane Luiza da Costa

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais
São Carlos, SP, Brasil
regianecosta@estudante.ufscar.br

Vandoir Bourscheidt

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais
São Carlos, SP, Brasil
vandoir@ufscar.br

RESUMO

A poluição atmosférica por material particulado (MP) tem sido uma preocupação global há anos, envolvendo um campo de pesquisa científica abrangente e que, mais recentemente, passou a incluir abordagens utilizando sensoriamento remoto. Buscando-se obter uma visão geral deste campo e identificar suas principais características e tendências, este trabalho conduziu uma análise bibliométrica acerca desta temática, considerando o contexto global e nacional, realizando-se, para este último, uma revisão sistemática. A partir da manipulação de dados da Scopus, 1.043 publicações foram identificadas entre 2001 e 2021, sendo o foco das análises conduzidas neste trabalho apenas os 732 documentos do tipo artigo. Os resultados mostraram que são poucas as discussões sobre o sensoriamento remoto de MP e aerossóis. As principais metodologias descritas foram (1) a produção de dados primários por meio de técnicas como Profundidade Óptica de Aerossóis (AOD), (2) a utilização de sensores (como MODIS, TERRA, LIDAR) e (3) a recuperação de dados secundários (como CETESB e SISAM). No Brasil, apenas nove documentos abordam esta temática, destacando-se o caráter multidisciplinar deles: saúde humana, aprendizagem, impactos ambientais e monitoramento da qualidade do ar. Embora tenha ocorrido aumento na produção científica nessa temática, ainda são necessários novos estudos para aprofundar os conceitos e aplicações do sensoriamento remoto neste âmbito.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. MODIS. LiDAR. Bibliometria. VOSviewer.

REMOTE SENSING OF PARTICULATE MATTER AND AEROSOLS: SCIENTOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT

Air pollution by particulate matter (PM) has been a global concern for years, involving a comprehensive field of scientific research and which, more recently, has come to include approaches using remote sensing. Seeking to obtain an overview of this field and identify its main characteristics and trends, this work made a bibliometric analysis on this theme, considering the global and national context, for the latter, a systematic review was carried out. From the manipulation of Scopus data, 1,043 publications were identified between 2001 and 2021, being the focus of the analyses conducted in this work only the 732 article-type documents. The results showed that there are few discussions on the remote sensing of PM and aerosols. The main methodologies described were (1) the production of primary data through techniques such as Aerosol Optical Depth (AOD), (2) the use of sensors (e.g. MODIS, TERRA, LIDAR) and (3) the recovery of secondary data (e.g. CETESB and SISAM). In Brazil, only nine documents address this theme, highlighting their multidisciplinary character: human health, learning, environmental impacts, and air quality monitoring. Although there has been

an increase in scientific production in this theme, further studies are still needed to deepen the concepts and applications of remote sensing in this context.

Keywords: Air pollution. MODIS. LiDAR. Bibliometric. VOSviewer.

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica tem como um dos seus principais efeitos a alteração da qualidade do ar, sendo essa perceptível por meio da mudança de cor e cheiro. Essa condição é capaz de dificultar a respiração humana, sendo correlacionada, assim, com doenças como a sinusite, rinite, asma e bronquite (SANTOS et al., 2021, URRUTIA-PEREITA et al., 2021).

Muitas são as causas da poluição atmosférica, por exemplo: o rápido processo de urbanização, queimadas, circulação de veículos automotores, emissão de gases oriundos de indústrias, entre outros (TARGINO et al. 2019). A combinação desses fatores levanta inúmeros questionamentos sobre quais seriam os efeitos na saúde humana, na qualidade ambiental, na economia, na educação, na conservação e equilíbrio das espécies aquáticas e terrestres, e também sobre qual o cenário de estudos relacionados ao entendimento da temática.

Uma das principais formas de poluição atmosférica tem como produto o aerossol atmosférico, caracterizado por suspensões de partículas sólidas e/ou líquidas, aliadas ao material particulado atmosférico (MPA), que é lançado diariamente na atmosfera e depositado no solo e na água (MARTINS et al., 2009; DUARTE et al., 2017; SOUZA et al., 2018; SOUZA et al., 2021).

O MPA, por sua vez, é extremamente pequeno, sendo classificado em função do diâmetro aerodinâmico médio das partículas. De acordo com Minguillón et al. (2008) e Freitas e Solci (2009), são partículas inaláveis grossas (MP_{2,5-10}) as que possuem diâmetro médio no intervalo de 2,5 a 10 µm; partículas finas ou respiráveis (MP_{2,5}) as que possuem diâmetro médio inferior a 2,5 µm; partículas quasi-ultrafinas (MP_{0,25}) as inferiores a 0,25 µm; e ultrafinas (MP_{0,10}) as inferiores a 0,1 µm.

Vários pesquisadores relacionam a exposição a esses materiais com efeitos adversos à saúde humana (SOUZA et al., 2018; SOUZA et al., 2021). Brunekreef e Forsberg (2005) correlacionam o tamanho das partículas às tipologias e intensidades dos problemas de saúde. Eles associaram partículas finas a maiores índices de mortalidade e partículas grossas a maiores taxas de internações por problemas respiratórios. Alguns autores apontam também que as nanopartículas podem ser incorporadas na biota aquática e, posteriormente, transferidas para humanos pelo consumo de alimentos (MARTINS et al., 2009; DUARTE et al., 2017; SOUZA et al., 2018; SOUZA et al., 2021).

Apesar da clara importância, no Brasil, estudos sobre a temática ainda são poucos e ainda são necessários avanços nas políticas públicas que enquadram esse tipo de poluição como crime ambiental. Existe também uma demanda pelo amplo debate acerca dos limites de emissão de partículas atmosféricas que podem ser adotados em regiões industriais, áreas urbanas ou rurais. Portanto, é necessário o avanço no entendimento, e também em tecnologias que possam produzir dados que subsidiem a gestão ambiental e auxiliem a tomada de decisão por meio das informações produzidas.

Um exemplo de iniciativa neste sentido é a pesquisa conduzida por Miranda, Andrade e Fattori (2004), que realizaram a descrição da composição do aerossol atmosférico presente na Região Sudeste no estado de São Paulo. O material analisado apresenta origem difusa, uma vez que a área urbana foi o local de coleta, sendo identificados diversos componentes químicos - Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb. Outro grupo de pesquisadores, Souza et al. (2021); Soares et al. (2022); De Angelis et al. (2022) e Adorno et al. (2023), se dedicaram à análise do MPA depositado diariamente no estado do Espírito Santo, na região industrial, e registraram a presença dos seguintes componentes químicos: Fe, Al, Mn, Cu, Ti, Pb, Sr, Cr, Ni, V, Ce, Zr, La, Y, As, Mo, Rb, Se, Nb, W, Cd, Ag, Bi, Ba, Sn.

Trata-se de registros de compostos químicos de singular importância, uma vez que se levantam questionamentos sobre os efeitos que esses contaminantes podem provocar a curto, médio e longo prazo em seres humanos, assim como na biota terrestre e aquática, uma vez que há presença de metais e metalóides, que são bioacumulados, na cadeia trófica aquática, incluindo animais que são utilizados no consumo humano, a exemplo dos peixes (SOUZA et al., 2021).

A partir destes estudos, verifica-se que dados de MPA e aerossóis são tradicionalmente coletados em estações de monitoramento. Logo, a abrangência e precisão destes dados fica limitada à densidade destas estações, mais frequentes em áreas urbanas (SHIN et al., 2020). Uma alternativa a estas limitações diz respeito ao uso de técnicas de sensoriamento remoto, mais especificamente aos sistemas de sensores a

bordo de satélite, que permitem estimar concentrações de MPA a partir de produtos de aerossol baseados na profundidade óptica (CHU et al., 2016).

Embora existam várias publicações científicas com foco nesta temática (CHU et al., 2016; SOWDEN, MUELLER; BLAKE (2018); SHIN et al., 2020; ULUTAS; ABUJAYYAB; KARAS et al., (2021); NAJIM, et al., 2023), são limitadas as publicações que reúnam os principais aspectos abordados nas mesmas (sensores, técnicas, aplicações, tendências, etc). Nesse sentido, o uso da cienciométrica apresenta-se como uma técnica versátil, pois permite a identificação de aspectos relevantes do arcabouço e evolução científica de determinado campo de pesquisa (SANTIN et al., 2019).

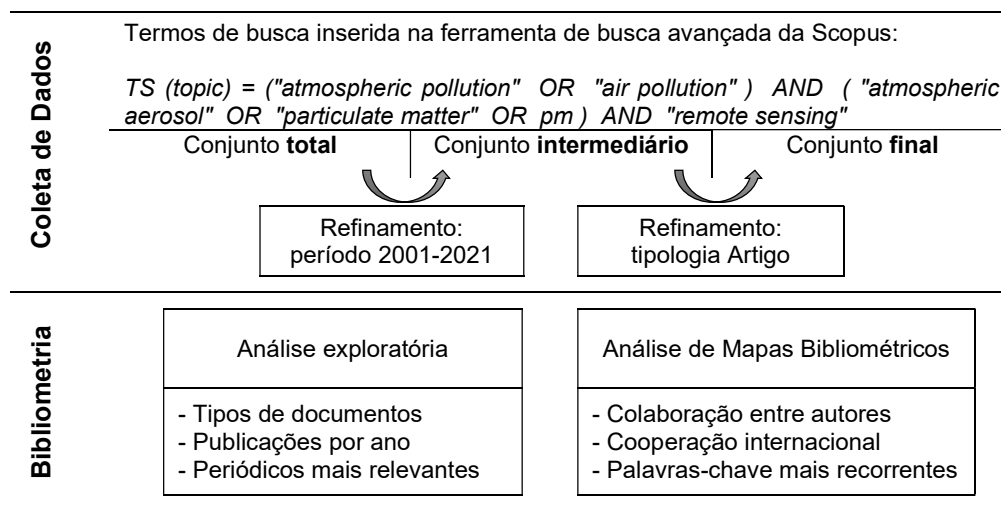
Desta forma, reconhecendo a importância e abrangência deste campo de pesquisa, este trabalho propõe uma análise cienciométrica acerca das publicações científicas sobre sensoriamento remoto aplicado à poluição atmosférica por material particulado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico adotado se dividiu em duas fases bem definidas: (Fase 1) análise bibliométrica à nível global; e (Fase 2) análise bibliométrica e revisão sistemática à nível nacional.

A Fase 1 foi desenvolvida a partir de dados coletados da base de indexação de publicações científicas *Scopus*, recuperados em 26/01/2022. Para extrair as publicações sobre o tema investigado foram empregados na busca avançada termos relacionados à sensoriamento remoto, poluição atmosférica e material particulado. Os termos, a estratégia de busca e as demais etapas realizadas nesta primeira fase estão detalhadas na Figura 1.

Figura 1 - Metodologia adotada na Fase 1 deste trabalho.



Fontes - os autores, 2022.

Os dados exportados da *Scopus* contêm desde informações triviais - como ano de publicação, autores, endereços, título do trabalho e local de publicação - a informações mais específicas - como referências, resumo (*abstract*), palavras-chave dos autores e dos veículos indexadores e áreas de pesquisa (VAN NUNEN et al., 2018). Estes embasaram a etapa de bibliometria.

Nesta etapa, a análise exploratória objetivou investigar os tipos de documentos, evolução temporal das publicações e periódicos mais relevantes por meio da elaboração e interpretação de gráficos e tabelas. Os tipos de documentos e a evolução temporal contemplaram o conjunto de dados intermediário exportado (1.043 documentos). Já a caracterização dos principais periódicos contemplou apenas o conjunto de dados final (732 artigos).

A construção de mapas bibliométricos também foi conduzida com base no conjunto de dados final exportado e utilizou o *software* gratuito de análise bibliométrica *VOSviewer* (VAN ECK; WALTMAN, 2022) para embasar o estudo das relações entre os autores, países e palavras-chave recorrentes. Esta ferramenta,

amplamente utilizada, viabiliza a análise bibliométrica por meio da visualização em mapas compostos por círculos, conexões (linhas) e cores (*clusters* ou data média) (VAN ECK; WALTMAN, 2010).

No geral, o tamanho dos círculos se refere à quantidade, a espessura das linhas representa a intensidade de conexão entre os itens e as cores podem representar grupos (*clusters*) com interação mais significativa ou o ano médio de ocorrência (VAN ECK; WALTMAN, 2014). Neste trabalho optou-se pela utilização das cores representando o ano médio de ocorrência dos itens e pela visualização dos 30 itens mais relevantes em cada mapa bibliométrico.

A Fase 2 do procedimento metodológico foi conduzida de maneira similar à Fase 1. Contudo, consistiu em uma nova busca incluindo o termo “*brazil*” como estratégia de refinamento para documentos com aplicação nacional, averiguando os principais aspectos de colaboração entre autores e países e a utilização dos termos recorrentes revelados no mapa bibliométrico de palavras-chave. Paralelamente, foi conduzida uma busca no Portal Periódicos CAPES, com os termos em português, visando uma maior abrangência de publicações nacionais. O Portal de Periódicos CAPES é uma biblioteca virtual de informação científica que reúne e disponibiliza conteúdos produzidos nacionalmente e internacionalmente, tratando-se do maior acervo científico de relevância nacional (CAPES, 2019).

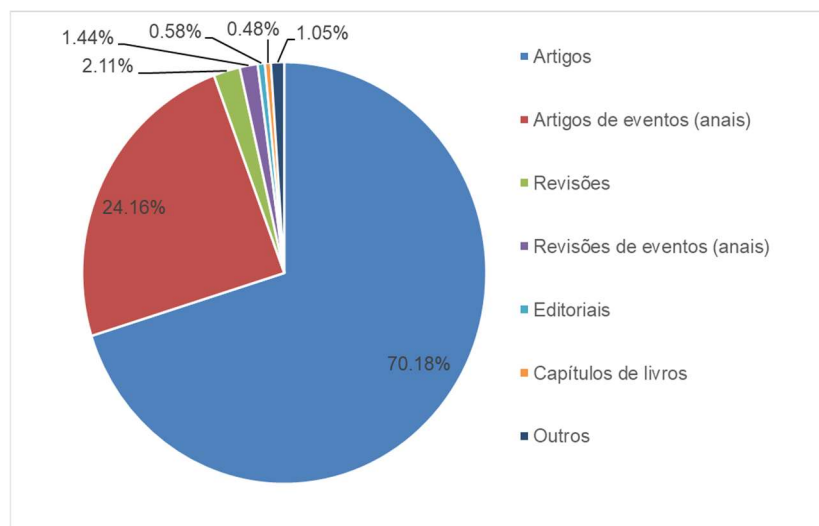
A última etapa desta fase se diferencia da anterior ao carregar uma revisão sistemática dos documentos recuperados na Fase 2, e, logo, àqueles com aplicação no Brasil. O eixo norteador desta etapa foi a identificação dos métodos de sensoriamento remoto empregados nos estudos relacionados à material particulado e aerossóis.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise bibliométrica em nível global

Considerando a busca realizada em 26/01/2022, entre os anos de 1973 - registro mais antigo na *Scopus* - e 2021, foram encontrados 1.111 documentos, sendo que 93,88% deles, 1.043, se referem ao período foco deste estudo, 2001 a 2021. A Figura 2 apresenta a distribuição percentual por tipo de documento, verificando-se o predomínio de artigos em periódicos (732). Este fato é um indicativo de que as publicações nesta temática são criteriosas e de excelência científica, pois são em sua maioria *peer-reviewed*.

Figura 2 - Tipos de documentos



Fonte - Elsevier, 2021. Elaboração: os autores, 2022.

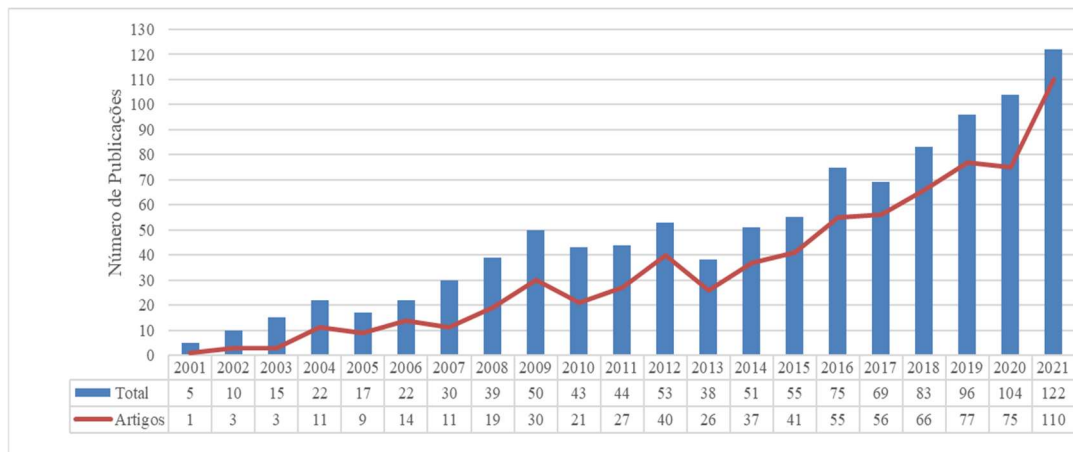
Na Figura 3 verifica-se que a predominância de artigos científicos se deu em praticamente todos os anos investigados, sendo significativa a taxa de crescimento deste tipo de documento entre 2020 e 2021, da ordem de 46,67%. De forma geral, a produtividade acadêmica intensificou-se recentemente, onde 45,44% dos documentos e 52,46% dos artigos foram publicados nos últimos 5 anos. Portanto, considerando a

predominância, bem como a esperada maior qualidade das publicações do tipo artigo, optou-se pelo foco nestes documentos para as próximas análises.

A primeira delas tratou da investigação sobre periódicos, que totalizaram 115 - significando que os 732 artigos foram publicados em 115 periódicos. Destes, 10 revistas foram responsáveis pela publicação de 48,80% dos artigos (Tabela 1), enfatizando a relevância e impacto das mesmas. Na Tabela 1 constam também os valores de *CiteScore* atribuídos a cada periódico. Ele é calculado com base no “número de citações de documentos (artigos, revisões, artigos de eventos, capítulos de livro e documentos de dados) de um periódico ao longo de quatro anos, dividido pelo número de documentos do mesmo tipo indexados na Scopus e publicados nesses mesmos quatro anos” (ELSEVIER, 2021).

De forma geral, o *CiteScore* é uma ferramenta bibliométrica proposta pela *Scopus* para mensurar a qualidade de periódicos - aspecto relevante a ser investigado em análises cienciométricas. O valor médio de *CiteScore* dentre os 10 periódicos mais relevantes é 8,25, reforçando a qualidade da literatura observada neste campo de pesquisa, uma vez que grande parte dos artigos (48,80%) encontra-se nestes periódicos de excelência científica.

Figura 3 - Total de publicações de 2001 a 2021 (barras em azul), ênfase para artigos (linha vermelha).



Fonte - Elsevier, 2021. Elaboração: os autores, 2022.

Verifica-se também que os artigos sobre a temática em questão publicados nestes periódicos foram citados muitas vezes, como por exemplo o primeiro periódico mais relevante, Atmospheric Environment - que publicou 15,37% dos artigos - recebeu 66,32% das citações referentes a este universo de documentos. O periódico Environmental Science And Technology chama a atenção devido à múltiplos aspectos: apesar de ter publicado apenas 2,96% dos artigos, possui o maior *CiteScore* e a terceira maior porcentagem de citações.

Os mapas bibliométricos permitem extrair informações relevantes sobre o campo de pesquisa que extrapolam a esfera do quantitativo, viabilizando análises qualitativas mais aprofundadas (MELANDA; OLIVATTO; DOMINGUES (2020). O mapa bibliométrico de principais autores revela intensa cooperação entre os mesmos (vide conexões entre autores na Figura 4), revelando três grupos bem definidos (*clusters* demarcados por cores), que sugerem comunidades e grupos científicos que estudam linhas coincidentes de pesquisa dentro desta temática. Na Figura 4a é possível identificar que os principais autores de cada *cluster* (tamanho dos círculos) correspondem também aos mais citados (Figura 4b).

Ambos os mapas bibliométricos apresentam conexões homogêneas, i.e., os autores publicam com diversos autores e citam diversos autores, não observando-se frequência entre determinados indivíduos. Isso não ocorre no mapa bibliométrico de países (Figuras 5a e 5b), onde apesar da rede de conexões ser

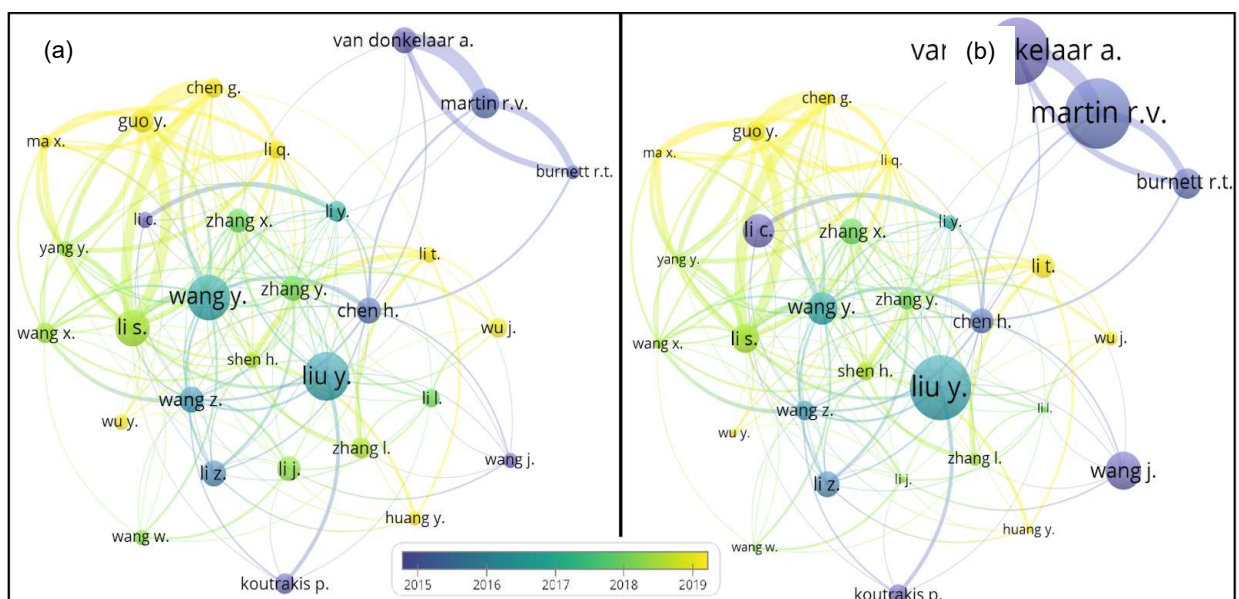
homogênea, verifica-se maior frequência de interação entre determinados países, como Estados Unidos (EUA) e Canadá, EUA e Reino Unido, EUA e China, e China e Austrália.

Tabela 1 - Periódicos mais relevantes.

PERIÓDICO	% DE PUBLICAÇÕES	CITESCORE (2020)	% DE CITAÇÕES
Atmospheric Environment	15,37	8,0	66,32
Science Of The Total Environment	6,21	10,5	19,43
Environmental Pollution	5,50	10,8	17,24
International Journal Of Environmental Research And Public Health	3,53	3,4	3,41
Environmental Research	3,39	7,9	16,50
Environment International	3,24	11,6	7,09
Environmental Science And Technology	2,96	13,8	22,43
Remote Sensing	2,96	6,6	3,10
Journal Of Geophysical Research Atmospheres	2,82	5,6	23,93
Journal Of The Air And Waste Management Association	2,82	4,3	4,79

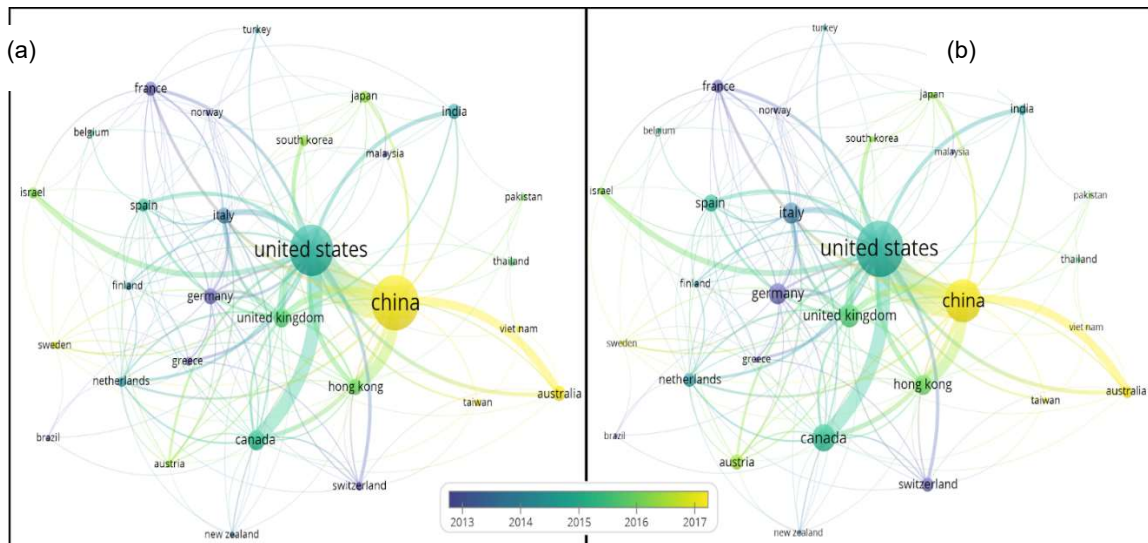
Fonte - Scopus, 2021. Elaboração: os autores, 2022.

Figura 4 - Mapa bibliométrico dos 30 principais autores. Na esquerda (a) organizados pelo número de documentos publicados e na direita (b) pelo total de citações.



Fonte - Elsevier, 2021. Elaboração: os autores, 2022.

Figura 5 - Mapa bibliométrico dos países dos 30 principais autores. Na esquerda (a) organizados pelos documentos publicados e na direita (b) pelo número de citações.

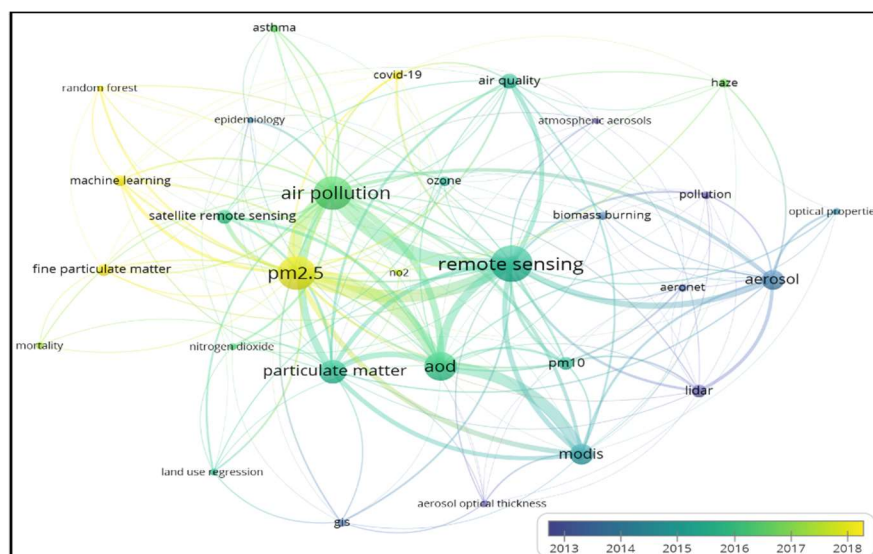


Fonte - Elsevier, 2021. Elaboração: os autores, 2022.

Nota-se que, apesar de a China ser o país que mais publica, são os EUA que possuem o maior número de citações. No outro extremo, Brasil e Turquia aparecem com o menor número de documentos publicados (no ranking de 30), contudo, não são os que menos possuem citações - estes são Malásia, Paquistão e Vietnã. China, Austrália, Vietnã, Taiwan - próximos geograficamente - e Suíça se destacam por serem os países com ano médio de citações e publicações mais recentes, podendo ser este um indicativo de que os tópicos de pesquisa conduzidos por estes países são mais atuais, ou até mesmo inovadores.

Por fim, o mapa bibliométrico de palavras-chave mais frequentes (Figura 6) é caracterizado por ocorrências predominantes dos termos de entrada "air pollution" (poluição do ar, com 151 ocorrências), "remote sensing" (sensoriamento remoto, com 132) e "particulate matter" (material particulado, com 129), além dos termos "pm2.5", "aod" (profundidade óptica do aerossol), "modis" (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) e "aerossol" - apresentando entre 52 e 99 ocorrências. Além de serem palavras-chave utilizadas com frequência, estes termos são o centro das interações mais intensas, revelando certo caráter norteador das pesquisas envolvidas, independentemente da técnica ou metodologia utilizada ou área de aplicação.

Figura 6 - Mapa bibliométrico das 30 palavras-chave mais frequentes.



Fonte - Elsevier, 2021. Elaboração: os autores, 2022.

O termo de destaque supracitado “pm2.5”, juntamente com os termos de menor relevância “*fine particulate matter*” (material particulado fino), “*machine learning*” (aprendizado de máquina), “*random forest*” (floresta aleatória), “*covid-19*” e “*no2*”, apresentaram maior ocorrência em anos mais recentes, posteriores a 2018, revelando tendências de pesquisa relacionadas, respectivamente, a material particulado fino, ciência de dados e outros elementos concentrados na atmosfera.

Na sequência, destacam-se ainda quanto à atualidade os termos “*air pollution*” (poluição atmosférica), “*asthma*” (asma) e “*haze*” (referindo-se à fumaça tóxica, geralmente, em função das queimadas intencionais de plantações de palma em alguns países asiáticos - condizente com o ilustrado na rede bibliométrica de países). Estes resultados permitem inferir que ocorreu certa consolidação nas técnicas de detecção e estimativa de MP e aerossóis, uma vez que os trabalhos mais recentes estão focados na análise dos dados coletados, principalmente, nos efeitos negativos à saúde humana.

Análise bibliométrica e revisão sistemática em nível nacional

Para o período analisado, foram encontrados apenas oito documentos na base de indexação *Scopus* que tratam de aplicações no território brasileiro, sendo quatro artigos de eventos científicos e quatro artigos de periódicos. Na busca conduzida no portal de Periódicos CAPES foi encontrado apenas um artigo de periódico. O Quadro 1 sumariza as informações bibliográficas destes documentos (os oito primeiros da *Scopus* e o último do Periódicos CAPES).

Quadro 1 - Resumo bibliográfico dos artigos com aplicações no Brasil.

ID	AUTORES	TÍTULO	ANO	PERIÓDICOS / ANAIS	Nº DE CITAÇÕES
1	Requia W.J., Saenger C.C., Cicerelli R.E., Monteiro de Abreu L., Cruvinel V.R.N.	Air quality around schools and school-level academic performance in Brazil	2022	Atmospheric Environment	0
2	Sacramento D.S., Martins L.C., Arbex M.A., Pamplona Y.D.A.P.	Atmospheric Pollution and Hospitalization for Cardiovascular and Respiratory Diseases in the City of Manaus from 2008 to 2012	2020	Scientific World Journal	1
3	Targino A.C., Harrison R.M., Krecl P., Glantz P., de Lima C.H., Beddows D.	Surface ozone climatology of South Eastern Brazil and the impact of biomass burning events	2019	Journal of Environmental Management	22
4	Da Costa R.F., Marques M.T.A., Lopes D.S., Guardani M.L.G., MacEdo F.D.M., Landulfo E., Guardani R.	Monitoring the environmental impact of aerosol loading and dispersion from distinct industrial sources in Cubatao, Brazil, using a scanning lidar	2016	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	2
5	Lopes F.J.S., Moreira G.A., Rodrigues P.F., Guerrero-Rascado J.L., Andrade M.F., Landulfo E.	Lidar measurements of tropospheric aerosol and water vapor profiles during the winter season campaigns over the metropolitan area of São Paulo-Brazil	2014	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	13
6	Landulfo E., Jorge M.P.M.P., Held G., Guardani R., Steffens J., Dos Anjos F. Pinto S., Andre I.R., Garcia G., Lopes F.J.S., Mariano	Lidar observation campaign of sugar cane fires and industrial	2010	Proceedings of SPIE - The International Society for	1

	G.L., Da Costa R.F., Rodrigues P.F.	emissions in the State of São Paulo, Brazil		Optical Engineering	
7	Martins M., Procópio A.S., Castanho A.D.A., Lanza M.L.D.	A study of the spatial distribution of aerosol optical thickness in Rio De Janeiro	2009	AIP Conference Proceedings	0
8	De Miranda R.M., Andrade M.F., Fattori A.P.	Preliminary studies of the effect of aerosols on nitrogen dioxide photolysis rates in the city of São Paulo, Brazil	2005	Atmospheric Research	11
9	Andrade Filho, V.S.; Artaxo, A.; Hacon, S.; Do Carmo, C.N.; Cirino, G.	Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil	2013	Revista de Saúde Pública	-

Nota - Número de citações até a data da busca (realizada em 26/01/2022).

Fonte - Elsevier, 2021 e Periódicos CAPES, 2022. Elaboração: os autores, 2022.

A partir do Quadro 1, constata-se a participação de 45 pesquisadores nestes nove documentos, sendo que apenas um deles, Landulfo, E., é co-autor em três artigos e cinco pesquisadores, da Costa, R.F.; Guardani, R.; Lopes, F.J.S.; Andrade, M.F. e Rodrigues, P.F., são co-autores em dois artigos. Por outro lado, os autores mais citados são Targino, A.C.; Harrison, R.M.; Krecl, P.; Glantz, P.; de Lima, C.H.; e Beddows, D., os quais publicaram apenas um artigo.

Como esperado, pelo fato desta nova busca/seleção focar em aplicações desenvolvidas no Brasil, todos os artigos possuem participação de pesquisadores brasileiros, sendo que quatro deles possuem colaboração internacional com pesquisadores da Suíça, Reino Unido, Espanha e Estados Unidos.

Um aspecto interessante é que apesar dos Estados Unidos aparecerem com o maior número de citações no mapeamento bibliométrico da busca global, o artigo em colaboração com os pesquisadores brasileiros não recebeu nenhuma citação, ao contrário dos artigos em colaboração com os outros países que receberam 22 citações, no caso da Suíça e Reino Unido, e 13 citações, no caso da Espanha.

Os artigos indexados na Scopus contabilizam um total 31 palavras-chave, sendo que destas apenas dois são comuns a três artigos - “*aerosols*” e “*air quality*” - e cinco são comuns a dois artigos - “*modis*”, “*particulate matter*”, “*biomass burning*”, “*air pollution*” e “*lidar*”. Destas últimas, todas aparecem como termos relevantes no mapeamento bibliométrico (Figura 6).

A Figura 7 organiza as palavras-chave mencionadas acima na forma de mapeamento bibliométrico. Nela, verifica-se que o termo “*remote sensing*” é centralizador das interações das palavras mais frequentes supracitadas (utilizadas em mais de um artigo). Um aspecto relevante é que o único grupo isolado - sem interação com o termo centralizador - corresponde às palavras-chave com ano médio de ocorrência mais defasado, correspondentes ao artigo publicado em 2005.

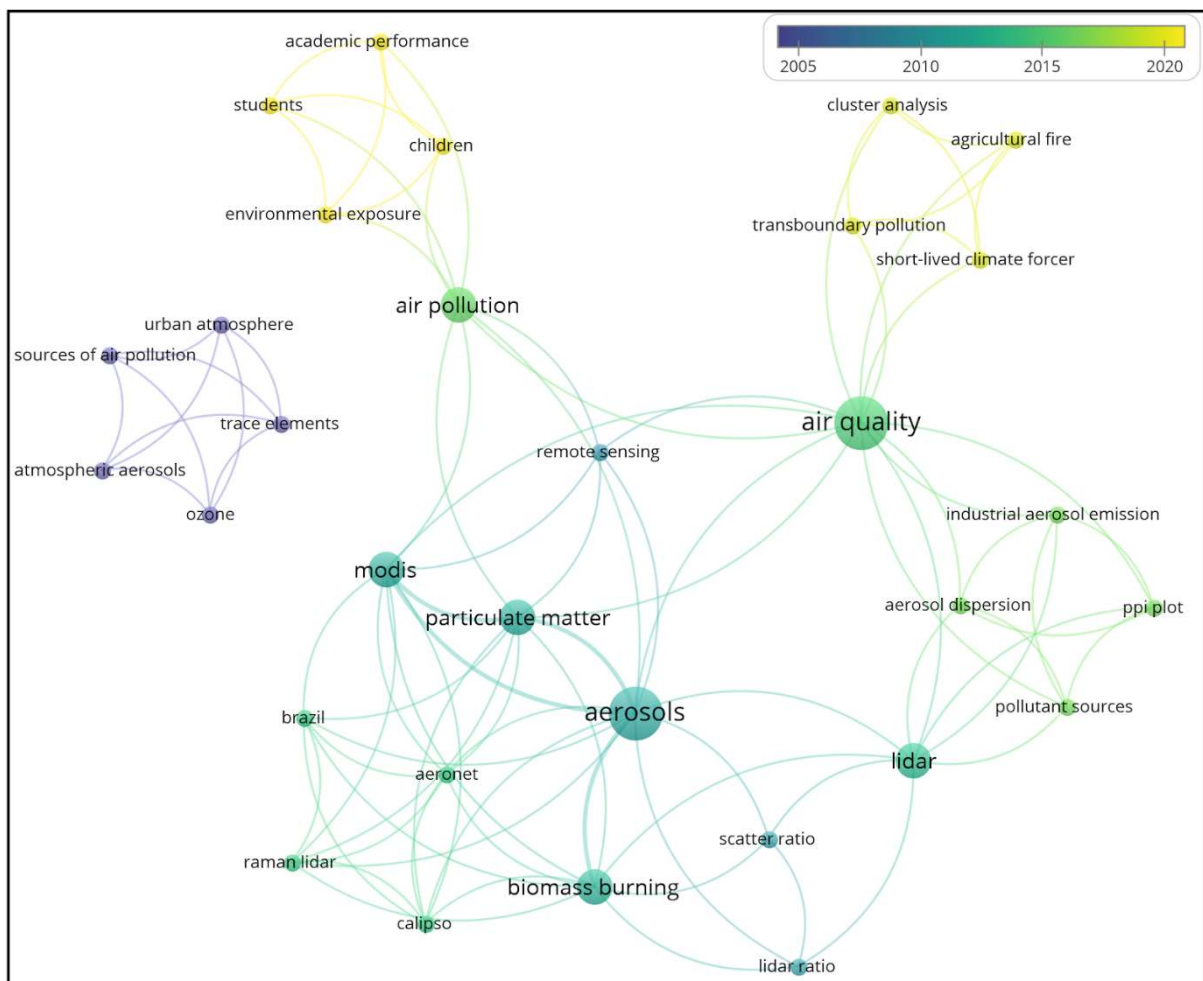
Os termos exibidos em amarelo, no topo da Figura 7, correspondem às palavras-chave dos artigos publicados em 2020 e 2022 e os termos em verde claro, na porção direita da mesma Figura, correspondem ao artigo publicado em 2019 (que recebeu o maior número de citações). Considerando que estes representam as principais tendências de pesquisa no âmbito nacional, é possível inferir que o foco recente das análises são os impactos da poluição atmosférica na saúde humana, especificamente, PM_{2.5} provenientes de queimadas e emissões industriais.

A análise dos resumos reforçou a relação intrínseca dos estudos de poluição do ar por aerossóis e material particulado com sensoriamento remoto no que tange especificamente a etapa de coleta de dados. Esta relação pode ser constatada pelo emprego: (i) da técnica de mensuração indireta de aerossóis AOD (profundidade óptica do aerossol) utilizando produtos de sensores orbitais; (ii) do sensor MODIS (sensor alocado nos satélites americanos TERRA e o AQUA, do Programa *Earth Observing System*) (NASA, 2022); (iii) do sensor remoto ativo LiDAR (Detecção e Alcance da Luz); (iv) de dados da CETESB nas análises; e (v) dos dados do Sistema de Informações Ambientais (SISAM), que no caso do material particulado, utiliza como fonte os modelos MERRA-2 e CAMS - ambos embasados em observações espectrais de sensores orbitais (INPE, 2022).

Buscando aprofundar a análise sobre os estudos desenvolvidos no Brasil, foi elaborada uma análise mais detalhada dos 10 documentos que tratam de aplicações no território brasileiro. A discussão foi organizada de forma temporal, partindo do documento mais recente (2022) até o mais antigo (2002).

Requia et al. (2022) correlacionaram a qualidade do ar no entorno de 25.390 escolas brasileiras e o desempenho acadêmico de estudantes. Para conduzir o estudo, foram incorporadas estimativas anuais de exposição ao MP2.5 obtidas a partir do modelo global desenvolvido por Van Donkelaar et al. (2015), que utiliza observações de sensoriamento remoto (MODIS) e combina a AOD com um modelo de transporte químico (embasado no *Goddard Earth Observation System*). Utilizando estes dados como subsídio, foi observado que dentre os efeitos que a poluição do ar pode desencadear estão déficits cognitivos que comprometem a aprendizagem significativamente.

Figura 7 - Mapa bibliométrico das 30 palavras-chave mais frequentes no Brasil.



Fonte - Elsevier, 2021. Elaboração: os autores, 2022.

Sacramento et al. (2020) realizaram um estudo com dados de poluição atmosférica e séries temporais de internações hospitalares sobre doenças respiratórias e cardiovasculares da cidade de Manaus, estado do Amazonas, ambos entre 2008 e 2012. Foram analisados dados de concentrações de material particulado (PM_{2,5}) recuperados do Sistema de Informação Ambiental Integrado com a Saúde Ambiental (SISAM), obtidos a partir dos modelos MERRA-2 e CAMS - embasados em observações espectrais de sensores orbitais. Ao contrário das evidências fornecidas pela literatura, o estudo não encontrou associação significativa entre as variáveis. Os autores enfatizaram a não existência de rede de monitoramento da qualidade do ar, sendo o sensoriamento remoto a forma viável de aquisição de dados no local estudado.

Targino et al. (2019) utilizaram a combinação de dados de ozônio *in situ* nos estados de São Paulo e Paraná, no período 2014-2017, dados de profundidade óptica de copoluentes de aerossol como NO_x, PM_{2,5} e PM₁₀, e ainda trajetórias das correntes de ar para identificar fontes, transporte e padrões geográficos nos dados de poluição do ar. Os autores empregaram sensoriamento remoto tanto para a recuperação das medidas de AOD, por meio dos produtos do MODIS, quanto para a identificação de focos de incêndio (*Advanced very-high-resolution radiometer* - AVHRR). Foi possível concluir que o transporte regional de particulados e gases devido à queima de biomassa se sobrepõe às emissões locais em cidades já altamente poluídas.

Da Costa et al. (2016) apresentaram os resultados de campanhas realizadas com um sistema de varredura LiDAR em um parque industrial na região de Cubatão - um dos maiores polos industriais do país. O trabalho compreendeu uma siderúrgica, dois complexos de fertilizantes, uma cimenteira e um petroquímico, viabilizando o monitoramento da distribuição espacial do aerossol atmosférico pois, além de fornecer informações sobre a concentração do aerossol sobre uma região de interesse, esta técnica permite detectar os locais específicos de emissão. Neste sentido, o LiDAR pode representar uma ferramenta valiosa de sensoriamento remoto no rateio de fontes e para validar modelos de dispersão da pluma.

Lopes et al. (2014), por sua vez, propõem a combinação de instrumentos de sensoriamento remoto terrestre (LiDAR) e orbital (*Aqua* MODIS), juntamente com a modelagem da trajetória das massas de ar, para investigar o transporte de aerossóis de fontes de poluição de longo alcance que podem afetar a qualidade do ar em megacidades como São Paulo.

Landulfo et al. (2010) também utilizaram de LiDAR a fim de observar e caracterizar opticamente os aerossóis de duas fontes distintas, a saber, a queima da biomassa da cana-de-açúcar e as emissões industriais. As campanhas de observação foram conduzidas no estado de São Paulo e, para este propósito, dois sistemas LiDAR estavam disponíveis, um móvel e outro colocado em laboratório, além de um SODAR, um radar meteorológico especialmente configurado para detectar “ecos” de aerossóis e analisadores de partículas de gás. Toda a campanha forneceu o equivalente a 30 dias de medições, o que permitiu obter propriedades ópticas dos aerossóis, como coeficientes de retroespalhamento/extinção, dispersão e proporções LiDAR, que foram correlacionados com indicadores da qualidade do ar e quantidades meteorológicas.

Martins et al. (2009) reforçam a importância do monitoramento da qualidade do ar em locais como a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RJMR), por possuir a segunda maior concentração de pessoas, veículos, indústrias e outras fontes poluentes do ar do Brasil. Por isso, uma distribuição espacial de aerossóis de alta resolução (1×1 km) foi obtida com base na reflectância medida por sensores MODIS, a partir da qual foi obtida a espessura óptica do aerossol usando o software SBDART (*Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer Model*).

Utilizando metodologia similar à de Sacramento et al. (2020), Andrade Filho et al. (2013), na mesma área de estudo, para o intervalo temporal entre 2002 e 2009, concluíram que as internações hospitalares de crianças por doenças respiratórias “podem estar mais associadas às condições meteorológicas, principalmente à umidade, do que à exposição dos aerossóis emitidos em focos de queimadas da região” (ANDRADE FILHO, et al., 2013, p.239). O documento publicado em 2020 também não encontrou relação significativa entre internações hospitalares e poluição do ar.

De Miranda, De Fátima Andrade e Fattori (2005), por sua vez, realizaram a primeira avaliação das partículas e parâmetros que influenciam nas taxas de fotólise na cidade de São Paulo, Brasil. Isso porque, de acordo com os autores, a concentração de material particulado (PM₁₀) afeta a formação do ozônio devido à sua interação com a radiação incidente e, conseqüentemente, impactando as taxas de fotólise. Para atingir o objetivo, os autores combinaram dados de um fotômetro solar da rede AERONET (*AErosol RObotic NETwork - Tropospheric Ultraviolet Visible*) para medições da AOD com os do satélite TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*), para medir os valores da coluna de ozônio. Desta forma, os resultados foram correlacionados à composição do aerossol, indicando que partículas compostas predominantemente de carbono negro tiveram um alto impacto na redução das taxas de fotólise.

A importância desses estudos anteriormente citados é ampla, pois envolvem aspectos da saúde humana, aprendizagem, impactos ambientais e monitoramento da qualidade do ar. Isso indica que tecnologias como o sensoriamento remoto geram produtos e resultados que são de utilização multidisciplinar, não somente na esfera acadêmica, mas, auxiliando gestores públicos por meio de informações que embasem a tomada de decisão. Além disso a utilização da cienciométrica mostra que

maiores discussões, que gerem publicações científicas, são necessárias, uma vez que apenas nove documentos foram encontrados referentes a aplicações no território brasileiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que, no período de 2001 a 2021, ocorreu um aumento na produção científica e uma abrangência maior de países interessados nessa temática, sobretudo em países desenvolvidos e que apresentam significativos índices de poluição atmosférica, o que indica a preocupação de pesquisadores sobre as implicações sistêmicas que essa pode provocar na humanidade.

Essa preocupação é ampla, refletindo em uma diversidade de publicações científicas que mostram a descrição da composição do aerossol e também do material particulado atmosférico, as possíveis fontes de origem, e os locais onde há maior concentração.

Inúmeras são as causas e fontes da poluição atmosférica. Entretanto, os dados apresentados na pesquisa evidenciam que os instrumentos de monitoramento e diagnóstico que utilizam o sensoriamento remoto são utilizados de forma isolada ou correlacionados a dados secundários, o que mostra a necessidade de maior aplicação e capacitação profissional sobre o conhecimento das técnicas, cada vez mais focadas na modernização e otimização de recursos. De certo modo, são alternativas eficientes para a produção de dados e informações que subsidiem a elaboração de políticas voltadas para a conservação do ambiente, prevenção de doenças principalmente as respiratórias.

Scopus é considerado um importante banco de dados da literatura revisada por pares, com milhões de arquivos catalogados, contudo os resultados bibliométricos mostraram que ainda são poucas as publicações e discussões sobre o sensoriamento remoto de material particulado e aerossóis, principalmente no âmbito nacional.

Dentre as análises conduzidas percebe-se que enquanto as publicações do cenário global possuem enfoque na produção de dados primários, utilização de sensores, e recuperação de dados secundários; as publicações do cenário brasileiro, apesar de também tratar de coleta de dados, evidenciam as possíveis correlações entre poluição atmosférica e doenças humanas e desempenho de aprendizagem, e também os impactos ambientais advindos da poluição.

No geral, verificou-se que as técnicas de sensoriamento remoto podem ter ampla variabilidade de aplicações, pois relacionam meio ambiente, saúde, educação, e qualidade de vida, produzindo informações que auxiliam a tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ADORNO, H. A.; COSTA SOUZA, I.; MONFERRÁN, M. V.; WUNDERLIN, D. A.; FERNANDES, M. N.; MONTEIRO, D. A. A. multi-biomarker approach to assess the sublethal effects of settleable atmospheric particulate matter from an industrial area on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Sci. of The Total Environ.** v. 856, p. 159168, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159168>.
- ANDRADE FILHO, V. S. D.; ARTAXO, P.; HACON, S.; CARMO, C. N. D.; CIRINO, G. Aerosols from biomass burning and respiratory diseases in children, Manaus, Northern Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 2, p. 239-247, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004011>.
- BRUNEKREEF, B.; FORSBERG, B. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. **European Respiratory Journal**, v. 26, p. 309–318, 2005. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00001805>.
- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Guia de uso do Portal de Periódicos da CAPES**. 2019. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br/images/documents/Portal_Periodicos_CAPES_Guia_2019_4_oficial.pdf. Acesso em: 20 jun 2023.

- CHU, Y.; LIU, Y.; LI, X.; LIU, Z.; LU, H.; LU, Y.; MAO, Z.; CHEN, X.; LI, N.; REN, M.; LIU, F.; TIAN, L.; ZHU, Z.; XIANG, H. A Review on Predicting Ground PM_{2.5} Concentration Using Satellite Aerosol Optical Depth. **Atmosphere**, v. 7, n. 10, p. 129, 2016. <https://doi.org/10.3390/atmos7100129>.
- DA COSTA, R. F.; MARQUES, M. T. A.; LOPES, D. S.; GUARDANI, M. L. G.; de MENDONÇA MACEDO, F.; LANDULFO, E.; GUARDANI, R. Monitoring the environmental impact of aerosol loading and dispersion from distinct industrial sources in Cubatão, Brazil, using a scanning lidar. In: LIDAR TECHNOLOGIES, TECHNIQUES, AND MEASUREMENTS FOR ATMOSPHERIC REMOTE SENSING, 2016, Edinburgh, United Kingdom. Proceedings..., Edinburgh:SPIE Remote Sensing, vol. 10006, p. 37-44, 2016. <https://doi.org/10.1117/12.2242069>.
- DE ANGELIS, C. F.; SOARES, M. P.; CARDOSO, I. L.; FILOGONIO, R.; TAYLOR, E. W.; MCKENZIE, M. V.; SOUZA, I. C.; WUNDERLIN, D. A.; MONFERRÁN, M. V.; FERNANDES, M. N.; LEITE, C.A.C. Settleable atmospheric particulate matter affects cardiorespiratory responses to hypoxia in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 257, p. 109353, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109353>.
- DE MIRANDA, R. M.; DE FÁTIMA ANDRADE, M.; FATTORI, A. P., Preliminary studies of the effect of aerosols on nitrogen dioxide photolysis rates in the city of São Paulo, Brazil. **Atmospheric research**, v. 75, n. 1-2, p. 135-148, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.12.004>.
- DUARTE, I.D.; SILVA, N.H.V.F.; DA COSTA SOUZA, I.; DE OLIVEIRA, L.B.; ROCHA, L.D.; MOROZESK, M.; BONOMO, M.M.; PEREIRA, T.A.; DIAS, M.C.; FERNANDES, V.P.; MATSUMOTO, S.T. Water quality of a coastal lagoon (ES, Brazil): abiotic aspects, cytogenetic damage, and phytoplankton dynamics. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 11, p. 10855-10868, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8721-2>.
- ELSEVIER. **Scopus**: How are CiteScore metrics used in Scopus? 2021. Disponível em: https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/14880/supporthub/scopus/. Acesso em: 20 dez. 2022.
- FREITAS, A. M.; SOLCI, M. C. Caracterização do MP₁₀ e MP_{2,5} e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1750-1754, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700013>.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SISAM**: Ficha Técnica Material Particulado d < 2.5 µm (PM_{2.5}) Próximo da Superfície. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/dados/descricao/>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- LANDULFO, E.; JORGE, M. P.; HELD, G.; GUARDANI, R.; STEFFENS, J.; PINTO, S. A. F.; ANDRE, I. R.; GARCIA, G.; LOPES F.J.S.; MARIANO, G. L.; COSTA, R. F.; RODRIGUES, P. F. Lidar observation campaign of sugar cane fires and industrial emissions in the State of São Paulo, Brazil. In: **Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing VI**. SPIE. p. 120-127. 2010. <https://doi.org/10.1117/12.866078>.
- LOPES, F. J.; MOREIRA, G. A.; RODRIGUES, P. F.; GUERRERO-RASCADO, J. L.; ANDRADE, M. F.; LANDULFO, E. Lidar measurements of tropospheric aerosol and water vapor profiles during the winter season campaigns over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. In: **Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing X**. SPIE. p. 99-112, 2014. <https://doi.org/10.1117/12.2067374>.
- MARTINS, M.; PROCÓPIO, A.S.; CASTANHO, A.D.; LANZA, M.L. A Study of the Spatial Distribution of Aerosol Optical Thickness in Rio de Janeiro. In: AIP Conference Proceedings 1100. American Institute of Physics. Reserch Article, March, 11, p. 287-290. 2009. <https://doi.org/10.1063/1.3116972>.
- MELANDA, E. A.; OLIVATTO, T. F.; DOMINGUES, J. M. M. Inteligência Geoespacial no Contexto Urbano. In: VENTURA, K. S. V. et al. (org.). **25 anos: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - PPGEU**. São Carlos: UFSCar/CPOI, 2020. p. 234-245. Disponível em: <https://www.ppgeu.ufscar.br/apresentacao-e-transparencia/LivroPPGEU2020.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- MINGUILLÓN, M. C.; ARHAMI, M.; SCHAUER, J. J.; SIOUTAS, C. Seasonal and spatial variations of sources of fine and quasi-ultrafine particulate matter in neighborhoods near the Los Angeles-long beach harbor. **Atmos. Environ**, v. 42, n. 32, p. 7317-7328, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.036>.

MIRANDA, R. M.; ANDRADE, M F.; FATTORI, A. P. Preliminary studies of the effect of aerosols on nitrogen dioxide photolysis rates in the city of São Paulo, Brazil. **Atmospheric research**, v. 75, n. 1-2, p. 135-148, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.12.004>.

NAJIM, A. O.; METEAB, M. A.; JASIM, A. T.; AJAJ, Q. M.; JUMAAH, H. J.; SULYMAN, M. H. A. Spatial analysis of particulate matter (PM10) using MODIS aerosol optical thickness observations and GIS over East Malaysia. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, 26(2), 265-271, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.03.001>

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer**: About. Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>. Acesso em: 8 nov. 2022

REQUIA, W. J.; SAENGER, C. C.; CICERELLI, R. E.; DE ABREU, L. M.; CRUVINEL, V. R. Air quality around schools and school-level academic performance in Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 279, p. 119125, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119125>

SACRAMENTO, D. S.; MARTINS, L. C.; ARBEX, M. A.; PAMPLONA, Y. D. A. Atmospheric Pollution and Hospitalization for Cardiovascular and Respiratory Diseases in the City of Manaus from 2008 to 2012. **The Scientific World Journal**, v. 2020, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8458359>

SANTIN, D.M.; VANZ, S.A.D.S.; CAREGNATO, S.E. A análise de redes de colaboração científica com base em indicadores bibliométricos. *In*: FRANCO, S.B.K.; FRANCO, M.E.D.P.; LEITE, D.B.C. (org.). **Educação superior e conhecimento no centenário da Reforma de Córdoba: novos olhares em contextos emergentes**. Porto Alegre: EDIPUCRS, p. 189-207, 2019.

SANTOS, U. D. P.; ARBEX, M. A.; BRAGA, A. L. F.; MIZUTANI, R. F.; CANÇADO, J. E. D.; TERRA-FILHO, M.; CHATKIN, J. M. Environmental air pollution: respiratory effects. **J Bras Pneumol**. v. 47, n. 1, p. e20200267, 2021. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200267>

SHIN, M.; KANG, Y.; PARK, S. I. M. J.; YOO, C.; QUACKENBUSH, L. J. Estimating ground-level particulate matter concentrations using satellite-based data: a review. **GIScience & Remote Sensing**, v. 57, n. 2, p. 174-189, 2020. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1703288>

SOARES, M. P.; DE ANGELIS, C. F.; CARDOSO, I. L.; MCKENZIE, D. J.; DA COSTA SOUZA, I.; WUNDERLIN, D. A.; LEITE, C. A. C. Settleable atmospheric particulate matter induces stress and affects the oxygen-carrying capacity and innate immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**. v. 257, p.109330. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109330>.

SOUZA, I. C.; ARRIVABENE, H. P.; CRAIG, C. A.; MIDWOOD, A. J.; THORNTON, B.; MATSUMOTO, S. T.; ELLIOT, M.; WUNDERLIN, D.A.; MONFERRÁN, M.V.; FERNANDES, M.N. Interrogating pollution sources in a mangrove food web using multiple stable isotopes. **Science of The Total Environment**, v. 640–641, p. 501–511, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.302>.

SOUZA, I.C.; MOROZESK, M.; MANSANO, A.S.; MENDES, V.A.S.; AZEVEDO, V C.; MATSUMOTO, S.T.; ELLIOTT, M.; MONFERRÁN, M.V.; WUNDERLIN, D.A.; FERNANDES, M.N. Atmospheric particulate matter from an industrial area as a source of metal nanoparticle contamination in aquatic ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 753, p. 141976, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141976>.

SOWDEN, M.; MUELLER, U.; BLAKE, D. Review of Surface Particulate Monitoring of Dust Events Using Geostationary Satellite Remote Sensing. **Atmospheric Environment**, v. 183, p. 154–164, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.020>.

TARGINO, A. C.; HARRISON, R. M.; KRECL, P.; GLANTZ, P.; DE LIMA, C.H.; BEDDOWS, D. Surface ozone climatology of Southeastern Brazil and the impact of biomass burning events. **Journal of environmental management**, v. 252, p. 109645, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109645>.

ULUTAŞ, K.; ABUJAYYAB, S. K. M.; KARAS, İ. R. Evaluation of particulate matter (PM10) distributions in Izmir using geographic information systems for smart cities applications. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. v. 46, n. 4/W5, p. 545–555, 2021. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W5-2021-545-2021>

URRUTIA-PEREIRA, M.; RIZZO, L. V.; CHONG-NETO, H. J.; SOLÉ, D. Impact of exposure to smoke from biomass burning in the Amazon rain forest on human health. **J Bras Pneumol**. v. 47, n. 5, p. e20210219. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20210219>

VAN DONKELAAR, A., MARTIN, R.V., SPURR, R.J.D., BURNETT, R.T., 2015. High-resolution satellite-derived PM2.5 from optimal estimation and geographically weighted regression over North America. **Environ. Sci. Technol**, v. 49, p, 10482–10491, 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02076>.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. Software survey: *VOSviewer*, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, p. 523–538, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. Visualizing bibliometric networks. *In: Measuring scholarly impact*, Springer, 285-320, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. **VOSviewer**: Visualizing scientific landscapes. Verssion 1.6.18. Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, 2022. Disponível em: <https://www.vosviewer.com/>. Acesso em: 15 jan. 2022. [software].

VAN NUNEN, K.; LI, J.; RENIERS, G.; PONNET, K. Bibliometric analysis of safety culture research. **Saf. Sci.**, v 108, p. 248–258, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.011>.

Recebido em: 09/03/2023

Aceito para publicação em: 24/08/2023