



Revisão da Literatura sobre Modelos de Dispersão Atmosférica Empregados no Contexto Brasileiro

Literature Review about Atmospheric Dispersion Models Employed in the Brazilian Context

Brunno Fabre Dos Santos¹, Yara de Souza Tadano²

RESUMO

A poluição do ar representa um desafio global que afeta diversas esferas e, a dispersão de poluentes na atmosfera possui um papel crucial na determinação dos níveis de poluição. Estudos de dispersão desempenham um papel fundamental na compreensão de como os poluentes se espalham no ambiente, fornecendo insights essenciais para avaliar os impactos gerados e implementar medidas eficazes de controle da poluição. Neste contexto, o objetivo deste trabalho consistiu-se em realizar uma revisão bibliográfica com o propósito de extrair informações relevantes acerca de estudos relacionados à dispersão de poluentes atmosféricos conduzidos no Brasil. Para esse fim, foram utilizadas as palavras-chave ("Air Pollution", "Dispersion" e "Brazil") na base de dados Scopus, o que resultou em 94 trabalhos. Após realizar a seleção com base no título e resumo, chegou-se a um conjunto final de 32 trabalhos. Durante essa análise, identificamos 12 modelos de dispersão distintos em estudos realizados no período de 1996 a 2022. Ao final, é notável que a pesquisa relacionada à dispersão de poluentes atmosféricos no Brasil ainda enfrenta desafios devido a uma série de fatores, incluindo a escassez de investimentos, recursos materiais limitados e a disponibilidade restrita de dados, o que impacta a realização de estudos mais abrangentes nesta área.

PALAVRAS-CHAVE: Brasil; Dinâmica dos Fluidos Computacional; Dispersão de Poluentes; Material Particulado; Modelos de Dispersão.

ABSTRACT

Air pollution represents a global challenge that affects various spheres, and the dispersion of pollutants in the atmosphere plays a crucial role in determining pollution levels. Dispersion studies are instrumental in understanding how pollutants spread in the environment, providing essential insights for assessing the generated impacts and implementing effective pollution control measures. In this context, the objective of this work was to conduct a literature review with the purpose of extracting relevant information about studies related to atmospheric pollutant dispersion conducted in Brazil. To achieve this goal, the keywords ("Air Pollution," "Dispersion," and "Brazil") was used in the Scopus database, resulting in 94 papers. After conducting the selection based on title and abstract, a final set of 32 papers was reached. During this analysis, 12 distinct dispersion models used in studies conducted from 1996 to 2022 were identified. In conclusion, it is noteworthy that research related to atmospheric pollutant dispersion in Brazil still faces challenges due to a range of factors, including limited investment, scarce material resources, and restricted data availability, which affect the conduct of more comprehensive studies in this field.

KEYWORDS: Brazil; Computational Fluid Dynamics; Pollutant Dispersion; Particulate Matter; Dispersion Models.

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica representa um dos desafios mais significativos que a sociedade enfrenta, uma vez que abrange uma série de fatores intrincados de difícil

¹ Bolsista da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: brunnofabre@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7193890711844448.

² Docente no Departamento Acadêmico de Matemática. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: yaratadano@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1411041491592598.



controle. Isso inclui a emissão de gases resultantes da queima de combustíveis fósseis, bem como a liberação de partículas provenientes de processos industriais (MACÊDO; RAMOS, 2020).

Dessa forma, os modelos de dispersão de poluentes representam ser uma ferramenta de extrema importância na análise desse problema. Em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde a escassez de dados de monitoramento é uma realidade, esses modelos assumem um papel de grande utilidade. Eles capacitam a simulação da dispersão em diversos cenários.

Existem diversos tipos de modelos que estão à disposição, como modelos de caixa, Gaussianos, Lagrangianos, Eulerianos e modelos de fluidodinâmica computacional (CFD). A principal distinção entre eles está nas equações e metodologias empregadas. Outras diferenças de relevância incluem os parâmetros utilizados, como a fonte de emissão, a resolução espacial adotada, o número de poluentes considerados e a complexidade do modelo (HOLMES; MORAWSKA, 2006).

Assim, a seleção apropriada de um modelo de dispersão para conduzir simulações assume uma relevância crítica, visto que uma escolha inadequada pode resultar em estimativas imprecisas, subestimando ou superestimando as concentrações de poluentes na atmosfera. Além disso, essa decisão pode impactar diretamente na formulação de regulamentos e políticas ambientais, com consequências significativas para a saúde pública.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática da literatura focada em modelos de dispersão atmosférica com ênfase no contexto brasileiro, com o propósito de identificar quais modelos são mais frequentemente empregados.

METODOLOGIA

Foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática sobre modelos de dispersão atmosférica no Brasil. Na primeira etapa, foi realizado o planejamento do estudo definindo-se o objetivo de sua realização e o procedimento de revisão a ser seguido.

Na segunda etapa, foi realizada a busca na base de dados SCOPUS (Elsevier) com a seguinte string: “Air Pollution” AND “Dispersion” AND “Brazil”, sem utilizar restrições de ano de publicação. Para os resultados encontrados, foram exportados dados de: título; revista científica; ano de publicação; número de citações; score da revista SNIP 2020. Todos os dados foram organizados em uma planilha Excel, a fim de realizar um ranqueamento, a partir do *Methodi Ordinatio*. No qual a metodologia consiste em obter um valor, denominado *InOrdinatio* (CAMPOS et al., 2018), equação (1):

$$InOrdinatio = \left(\frac{IF}{1000}\right) + [A * (10 - (RY - PY))] + (SCi) \quad (1)$$

em que *IF* é o score do SNIP 2020 da revisão, *A* é o coeficiente atribuído para a importância do ano do artigo baseado na relevância do título e do resumo em relação ao tema (atribuído valor 1), *RY* é o ano da pesquisa, *PY* é o ano de publicação do artigo e *SCi* é o somatório das citações (CAMPOS et al., 2018). Os valores de *InOrdinatio* foram ordenados de forma decrescente e, em seguida, realizou-se uma seleção a partir do título e do resumo, para descartar trabalhos que não se relacionavam à modelos de dispersão aplicados no Brasil.



Por fim, na terceira etapa foi realizada a leitura dos trabalhos, a fim de levantar os dados sobre os modelos de dispersão utilizados no Brasil e seus objetivos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa inicial resultou em um total de 94 trabalhos científicos. Após a aplicação do critério de seleção com base em título e resumo, visando identificar especificamente os estudos que abordavam a dispersão de poluentes atmosféricos no contexto brasileiro, observou-se que muitos dos trabalhos encontrados não estavam diretamente relacionados à dispersão de poluentes em si. Muitos deles tinham um foco voltado para a área da saúde, explorando os impactos da exposição a poluentes atmosféricos. Como resultado, apenas 32 trabalhos se encaixaram nos critérios definidos para este estudo.

A Figura 1 ilustra a evolução temporal desses trabalhos. O primeiro registro foi publicado em 1996, seguido por algumas publicações esporádicas até o ano de 2016. A partir desse ponto, observou-se um aumento significativo no número de publicações sobre o tema, com um pico notável nos anos de 2020 e 2021. Essa tendência evidencia o crescente interesse e relevância das pesquisas relacionadas aos modelos de dispersão atmosférica.

Figura 1 – Trabalhos publicados por ano



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Dos 32 trabalhos analisados, muitos faziam o uso do mesmo modelo de dispersão atmosférica. Em certos casos, houve uma adaptação ou a combinação de múltiplos modelos para se adequarem ao estudo em questão. Em outras situações, os trabalhos não mencionaram o nome específico do modelo utilizado, apenas o tipo de modelo empregado. Para a análise final dos trabalhos, considerou-se somente aqueles que apresentavam o nome do modelo utilizado e informações relevantes sobre as especificações do modelo de dispersão utilizado no estudo, sendo 12 trabalhos analisados.

Ao examinar os trabalhos, foram extraídas informações relevantes relacionadas ao estudo de caso de cada modelo de dispersão utilizado, conforme apresentado no Quadro 1. As informações avaliadas incluíram o nome do modelo empregado, tipo do modelo, poluentes simulados, escala do estudo, tamanho da resolução computacional e se as reações químicas foram consideradas no processo. É importante destacar que os dados apresentados no Quadro 1 abrangem exclusivamente as condições específicas de cada estudo, e pode haver outros parâmetros e especificações do modelo de dispersão que não foram abordados na análise.



Quadro 1 – Especificações dos modelos utilizados nos estudos.

Nome	Tipo de modelo	Poluentes	Escala / Resolução	Reações Químicas	Acoplamentos	Referências
ISC3	Gaussiano	NO _x ; VOC; CO; CH ₄	Local / 100 x 100 m	Sim	Sim	(CORRÊA et al., 2012)
		MP ₁₀ ; MP _{2.5}	Regional / 30 x 30 km	Não	Não	(CAVALCANTI; LA ROVERE, 2011)
WRF	CFD	MP ₁₀ ; MP _{2.5}	Regional / 5 x 5 km (células)	Sim	Sim	(ANDREÃO et al., 2020)
		SO ₂	Regional; Local / 24 a 0,8 km (células)	Não	Sim	(SILVA et al., 2022)
		CO; MP _{2.5} ; O ₃	Regional; Local / 9 a 1 km	Sim	Sim	(VARA-VELA et al., 2021)
AERMOD	Gaussiano	TSP; CO; NO _x	Local / 2,5 x 2,5 km	Não	Sim	(MACÊDO; RAMOS, 2020)
		MP _{2.5} ; CO; NO _x	Regional / 25 x 25 km	Não	Sim	(RANGEL et al., 2018)
		NO; NO ₂ ; NO _x ; N ₂ O; NH ₃	Regional / 16 x 22 km (células)	Não	Não	(TADANO et al., 2014)
CALPUFF	Lagrangiano	SO ₂	Regional / 50 x 50 km	Não	Sim	(PIMENTEL et al., 2012)
		SO ₂	Regional / 0,5 km (células)	Não	Sim	(SILVA et al., 2022)
RANS / LES	CFD	CO	Local / ~1,2 x ~7,5 km	Não	Não	(ALBANI; PULVIRENTI; SABATINO, 2016)
CCATT-BRAMS	Euleriano	CO	Local; Regional / 2 x 2 a 20 x 20 km	Sim	Sim	(SILVA et al., 2020)
EURAD-IM	Euleriano	MP ₁₀ ; MP _{2.5}	Regional; Local / 25 a 1 km	Sim	Sim	(DUARTE et al., 2021)
K-ε MODEL	CFD	MP	Local / ~2 x ~2 km	Não	Não	(SOARES; REZENDE; ALMEIDA, 2021)

Nota: ISC3: Industrial Source Complex Dispersion Model; WRF: Weather Research and Forecasting model; EURAD-IM: European Air pollution Dispersion-Inverse Model; CFD: Computational Fluid Dynamics; TSP: Partículas Totais em Suspensão; VOC: Compostos Orgânicos Voláteis; MP: Material Particulado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Pelo Quadro 1, percebe-se que no Brasil boa parte dos estudos realizou a simulação do monóxido de carbono (CO) e de material particulado (MP). Nos últimos anos, tem-se dado uma crescente importância para as emissões de CO e outros gases de efeito estufa, por ser proveniente da queima incompleta de combustíveis fósseis, contribuindo com o aumento das mudanças climáticas e seus impactos. Já o MP, pode trazer várias consequências, sejam elas ambientais alterando o metabolismo de plantas e animais, ou até mesmo em relação a saúde populacional, uma vez que esse material particulado pode provocar problemas cardiovasculares e respiratórios.

Além disso, outro ponto importante é a utilização de acoplamentos em boa parte dos estudos, no qual são módulos incorporados a modelos de dispersão já existentes, a fim de fornecer um pacote capaz de modelar situações específicas e complexas. Dentre alguns tipos de acoplamentos, podem ser citados os módulos de dinâmica de aerossóis, modelos de previsão climática, entre outros.



CONCLUSÃO

Diante da revisão bibliográfica realizada, foi possível obter informações cruciais sobre os estudos de dispersão de poluentes no contexto brasileiro. Por exemplo, observou-se que a maioria dos modelos focava na modelagem de um único poluente, sem considerar as reações químicas envolvidas, ou operavam em escalas locais. Isso provavelmente se deve à complexidade e aos custos associados à condução de estudos que envolvam múltiplos fatores e grandes escalas. Nesse sentido, é evidente que existe uma demanda crescente por mais pesquisas relacionadas à dispersão de poluentes em países em desenvolvimento, onde a infraestrutura e os recursos dedicados ao monitoramento ambiental são limitados. Os estudos de dispersão de poluentes têm um papel fundamental, por representarem uma alternativa viável e econômica. Eles podem contribuir significativamente para preencher as lacunas nos dados de monitoramento, fornecendo informações essenciais para fundamentar decisões e ações relacionadas à gestão ambiental, ao desenvolvimento sustentável e à saúde pública.

Agradecimentos

Esta pesquisa teve apoio da Fundação Araucária em bolsa de Iniciação Científica.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- Albani, R. A. S., Pulvirenti, B., & di Sabatino, S. Simulations of traffic related pollutants in a main street of Rio de Janeiro city (Brazil) using computational fluid dynamics modelling. **HARMO 2016 - 17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Proceedings**, v. 2016-May, p. 371-375, 2016.
- Andreão, W. L., Alonso, M. F., Kumar, P., Pinto, J. A., Pedruzzi, R., & de Almeida Albuquerque, T. T. Top-down vehicle emission inventory for spatial distribution and dispersion modeling of particulate matter. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27(29), p. 35952-35970, 2020.
- Cavalcanti, P. M. P. S., & la Rovere, E. L. Strategic Environmental Assessment of Mining Activities: A Methodology for Quantification of Cumulative Impacts on the Air Quality. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 61(4), p. 377-389, 2011.
- Corrêa, S. M., de Souza, C. v., Sodrê, E. D., & Teixeira, J. R. Volatile organic compound emissions from a landfill, plume dispersion and the tropospheric ozone modeling. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23(3), p. 496-504, 2012.
- De Campos, E. A. R., Pagani, R. N., Resende, L. M., & Pontes, J. Construction and qualitative assessment of a bibliographic portfolio using the methodology Methodi Ordinatio. **Scientometrics**, v. 116(2), p. 815-842, 2018.



de Souza Fernandes Duarte, E., Franke, P., Lange, A. C., Friese, E., Juliano da Silva Lopes, F., João da Silva, J., Souza dos Reis, J., Landulfo, E., Santos e Silva, C. M., Elbern, H., & Hoelzemann, J. J. Evaluation of atmospheric aerosols in the metropolitan area of São Paulo simulated by the regional EURAD-IM model on high-resolution. **Atmospheric Pollution Research**, v. 12(2), p. 451-469, 2021.

Holmes, N. S., & Morawska, L. A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available. **Atmospheric Environment**, v. 40(30), p. 5902-5928, 2006.

Macêdo, M. F. M., & Ramos, A. L. D. Vehicle atmospheric pollution evaluation using AERMOD model at avenue in a Brazilian capital city. Air Quality, **Atmosphere and Health**, v. 13(3), p. 309-320, 2020.

Pimentel, L. C. G., da Cunha, B. D., da Silva, M. S., Landau, L., & Guerrero, J. S. P. Performance assessment of regulatory air quality models AERMOD and CALPUFF-A near field case study in Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. **HARMO 2010 - Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes**, p. 128-132, 2010.

Rangel, M. G. L., Henríquez, J. R., Costa, J. A. P., & de Lira Junior, J. C. An assessment of dispersing pollutants from the pre-harvest burning of sugarcane in rural areas in the northeast of Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 178, p.265-281, 2018.

Silva, K. L. ávila da, Alonso, M. F., Moura, S. F. de, & Verdi Filho, T. F. Estudo da Dispersão do Monóxido de Carbono Associado a Emissão Veicular na Região Metropolitana de Porto Alegre com o Sistema de Modelagem Numérica CCATT - BRAMS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36(1), p. 49-62, 2021.

Soares da Silva, M., Pimentel, L. C. G., Duda, F. P., Aragão, L., Silva, C., Dragaud, I. C. D. V., & Vicentini, P. C. Assessment of meteorological settings on air quality modeling system—a proposal for UN-SDG and regulatory studies in non-homogeneous regions in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30(1), p. 1737-1760, 2022.

Soares, I. P., de Rezende, D. C. G., & de Almeida, K. N. Wind-Fence Efficiency Controlling Particulate Matter Emissions from Coal Stockpiles in an Industrial Site. **8th Congreso Colombiano y Conferencia Internacional En Calidad de Aire y Salud Publica, CASAP 2021 – Proceedings**, 2021.

Tadano, Y. S., Borillo, G. C., Godoi, A. F. L., Cichon, A., Silva, T. O. B., Valebona, F. B., Errera, M. R., Penteadto Neto, R. A., Rempel, D., Martin, L., Yamamoto, C. I., & Godoi, R. H. M. Gaseous emissions from a heavy-duty engine equipped with SCR aftertreatment system and fuelled with diesel and biodiesel: Assessment of pollutant dispersion and health risk. **Science of the Total Environment**, v. 500–501, p. 64-71, 2014.