

Modelo Integrado para Análise de Poluentes Atmosféricos com Inteligência Artificial Generativa: Estudo Comparativo Bahia– Minas Gerais–Pernambuco e Potencial de Transferência Tecnológica

Felipe Marques Machado¹; Andrea Cristina Marin²; Marlon Cavalcante Maynart³

¹ Centro Universitário Senac. (felipe.mmachado4@senacsp.edu.br).

² Centro Universitário Senac. (andrea.cmarin@sp.senac.br).

³ Centro Universitário Senac. (marlon.cmaynart@sp.senac.br).

Resumo: Este trabalho apresenta a construção e aplicação de um Modelo Integrado (MI) para análise comparativa da relação entre emissões atmosféricas e indicadores socioeconômicos nos estados da Bahia, Minas Gerais e Pernambuco, utilizando Inteligência Artificial Generativa (IAG) como ferramenta metodológica estruturante. Diante da heterogeneidade dos períodos de monitoramento ambiental que inviabiliza comparações diretas por período, propõe-se uma arquitetura capaz de identificar o perfil característico de emissão de poluentes de cada estado — padrão singular que revela como a economia local pressiona a qualidade do ar. O objetivo central consiste em investigar a convergência ou divergência dos mecanismos de acoplamento entre crescimento econômico e pressão atmosférica, analisando o comportamento de poluentes como Material Particulado (MP10 e 2,5), Ozônio troposférico (O₃), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e Dióxido de Enxofre (SO₂) frente a variáveis como Produto Interno Bruto (PIB) estadual, frota veicular, índice industrial e matriz energética, incorporando ainda bioma, densidade populacional, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e coeficiente de Gini, indicador de desigualdade social e econômica. A metodologia envolve consolidação e padronização de bases ambientais e econômicas oficiais da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD/MG), do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA/BA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), seguida de triangulação estatística por meio dos coeficientes de Pearson, Spearman e Kendall, assegurando robustez inferencial em cenários de séries temporais assimétricas. A IAG desempenha papel central, sendo empregada na estruturação de dados heterogêneos, na geração e revisão de rotinas analíticas e na validação cruzada das saídas, por meio de prompts detalhados que especificam objetivo, contexto, fonte e expectativas de resposta, assegurando rastreabilidade e reprodutibilidade do fluxo de trabalho analítico. O modelo integrado é calibrado inicialmente a partir de Minas Gerais, onde correlações foram confirmadas para MP_{2,5} ($\rho = 0,96$) e O₃ ($\rho = 0,98$). Os coeficientes para Bahia e Pernambuco encontram-se em fase final de consolidação, com resultados preliminares indicando padrões convergentes ao modelo calibrado em Minas Gerais. A análise comparativa entre os períodos pré-crise (2001–2007) e pós-crise (2008–2016) em Minas Gerais indica que, mesmo diante da retração do PIB em 2015–2016, não houve redução proporcional das concentrações de particulados — que passaram de 29 para 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período pós-crise — sugerindo persistência estrutural dos vetores de emissão. Quando aplicado a Pernambuco, no contraste entre o período pré-pandemia (2017–2019) e o biênio da Covid-19 (2020–2021), verificou-se comportamento semelhante, evidenciando a inércia do modal rodoviário e fontes urbanas difusas como vetores dominantes. Na Bahia, a frota veicular também se mostrou driver consistente das concentrações de particulados. Conclui-se que os poluentes apresentaram tendência de estabilização ou redução insuficiente frente às retrações do PIB, evidenciando desacoplamento negativo e inércia das fontes emissoras. O Modelo Integrado proposto constitui solução metodológica escalável para comparação inter-regional de pressões ambientais, com potencial de aplicação em planejamento urbano, transição energética e economia verde, consolidando a IAG como instrumento estratégico para decisões baseadas em evidências.

Palavras-chave: Modelo Integrado; Inteligência Artificial Generativa; Emissões Atmosféricas; Transferência Tecnológica; Gestão Ambiental.