

ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DO AR NA REGIÃO EM TORNO DO MUNICÍPIO DE ITABIRA/MG

COMPARATIVE ANALYSIS OF AIR QUALITY IN THE REGION AROUND THE
MUNICIPALITY OF ITABIRA/MG

Helder Rodrigues VERVLOET, Ana Carolina Vasques FREITAS

Universidade Federal de Itajubá. Câmpus Itabira. Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II, Itabira – MG.
E-mail: helder.rrv@gmail.com, ana.freitas@unifei.edu.br

Introdução
Metodologia
Área de estudo
Dados e métodos
Resultados
Seleção dos municípios
Parâmetros das cidades analisadas
Análise dos dados de qualidade do ar
Considerações finais
Referências

RESUMO - A poluição atmosférica representa um sério problema de saúde pública, especialmente em áreas que possuem atividades de mineração a céu aberto, como em alguns municípios do estado de Minas Gerais. O presente estudo comparou a qualidade do ar de Itabira com outros municípios mineradores, sendo eles, Brumadinho, Paracatu e Timóteo, avaliando a qualidade do ar e as taxas de internações por doenças respiratórias a cada mil habitantes, entre 2015 e 2022, buscando investigar a correlação entre as concentrações de material particulado (MP₁₀) e problemas de saúde respiratória. Observou-se que, apesar das altas concentrações de MP₁₀, Timóteo registrou o menor número de internações, enquanto Itabira, com menores níveis de MP₁₀, apresentou altas taxas de internação, indicando que outros fatores podem influenciar a saúde respiratória, como os índices de arborização e o impacto de outros poluentes. A pesquisa ressalta a necessidade de regulamentações mais rígidas e monitoramento contínuo para mitigar os efeitos da poluição. Além disso, destaca-se a necessidade de implementação de tecnologias que ajudem a reduzir as emissões de poluentes e as ações de educação ambiental, que são elementos vitais para melhorar a qualidade do ar e a saúde das pessoas.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Material particulado (MP₁₀). Mineração. Saúde Pública.

ABSTRACT - Atmospheric pollution represents a serious public health problem, especially in areas that have open-air mining activities, such as in some cities in the state of Minas Gerais. The present study compared the air quality of Itabira with other mining cities, such as Brumadinho, Paracatu and Timóteo, evaluating air quality and hospitalization rates for respiratory diseases per thousand inhabitants, between 2015 and 2022, seeking to investigate the glare between concentrations of particulate matter (PM₁₀) and respiratory health problems. It should be noted that, despite the high concentrations of PM₁₀, Timóteo recorded the lowest number of hospitalizations, while Itabira, with lower levels of PM₁₀, presented high hospitalization rates, except that, other factors can influence respiratory health, such as afforestation rates and the impact of other polluting substances. The present study highlights the need for stricter regulations and ongoing monitoring to mitigate the effects of pollution. Beside that, the need to implement technologies that help reduce emissions and environmental education actions stands out, which are mandatory elements to improve air quality and community health.

Keywords: Atmospheric pollution. Particulate matter (PM₁₀). Mining. Public health.

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é um tópico que vem sendo amplamente debatido nos dias atuais. Este problema tem sido reconhecido como uma preocupação séria em termos de saúde pública, especialmente desde o início do século XX (Braga et al., 2001).

Após a Revolução Industrial, aumentou significativamente o número de indústrias, impactando diretamente no aumento das emissões de poluentes. O crescimento industrial trouxe consigo uma expansão considerável das atividades produtivas, resultando em uma maior liberação de substâncias poluentes na atmosfera, gerando

impactos não só no meio ambiente, mas, principalmente, na saúde e na qualidade de vida das pessoas.

Portanto, a demanda global crescente por recursos minerais impulsionou de maneira substancial a expansão da indústria de mineração, que desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico de vários países. Contudo, esse crescimento tão acelerado não ocorre sem certas consequências, sendo que uma das preocupações ambientais mais prementes associadas à atividade mineradora é a poluição atmosférica. A emissão de poluentes provenientes das operações

de mineração pode ter impactos significativos na qualidade do ar, afetando não apenas as áreas nas regiões vizinhas, mas também contribuindo para problemas globais, como as mudanças climáticas (Mechi & Sanches, 2010).

O ar, essencial para a vida na Terra, tornou-se um dos grandes problemas decorrentes do desenvolvimento industrial, especialmente no contexto da mineração a céu aberto (Singh & Gautam, 2024). Existe atualmente uma demanda para que seja feita cada vez mais uma análise abrangente dos diferentes aspectos da poluição atmosférica emitida pelas atividades mineradoras, explorando os tipos de emissões que são liberadas e os efeitos adversos resultantes dessa poluição. Além disso, é importante analisar como as regulamentações ambientais têm abordado esse problema, identificando lacunas e propondo medidas mitigadoras aplicáveis às práticas da indústria mineradora.

No contexto da poluição atmosférica, torna-se essencial compreender os diversos processos envolvidos na remoção e processamento de minerais, que acabam por desencadear uma grande emissão de substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente. Nesse contexto, se destaca o material particulado (MP), cujas fontes de emissão podem ter origem tanto em processos naturais, quanto em atividades humanas (Brito et al., 2018).

Do ponto de vista teórico, o material particulado (MP) atmosférico abrange partículas sólidas ou líquidas que permanecem em suspensão durante um certo período de tempo, na atmosfera, podendo ter origens distintas (Souza et al., 2010). As fontes naturais incluem processos como a ressuspensão de poeira do solo que é causada pela ação do vento, por queimadas que ocorrem de maneira natural, ou até mesmo pelos pólenes, enquanto as fontes antropogênicas estão associadas às atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, dentre outros (Santos et al., 2019).

O MP é classificado de acordo com seu diâmetro aerodinâmico, sendo subdividido, principalmente, em partículas respiráveis finas (MP_{2,5}), com o diâmetro aerodinâmico de até 2,5 micrômetros, e as partículas inaláveis grossas (MP₁₀), que inclui as partículas com o diâmetro aerodinâmico de até 10 micrômetros, que são uns dos principais poluentes emitidos nas atividades de mineração (Patra et al., 2016). Além do MP₁₀ e MP_{2,5}, existem também as Partículas

Totais em Suspensão (PTS), que englobam as partículas com diâmetro de até 50 micrômetros, e as Partículas Sedimentáveis (PS), que constituem aquelas que se depositam nas superfícies, causando incômodo à população.

O presente trabalho tem como intuito focar nas partículas inaláveis grossas (MP₁₀), com diâmetro que varia entre 2,5 a 10 µm, tendo sua origem em diversos processos, incluindo processos de combustão, dispersão mecânica do solo e outros materiais provenientes da crosta terrestre. Além disso, nesta faixa, também se encontram partículas biológicas, como pólenes e esporos (Braga et al., 2001).

O interesse científico em relação às partículas presentes na atmosfera é motivado pelos diversos impactos que essas partículas exercem sobre o “clima, o meio ambiente, a visibilidade e a saúde humana” (Santos et al., 2019).

O material particulado, resultante de processos como mineração a céu aberto, é proveniente da perfuração e detonação de rochas (Pontes et al., 2016), além da movimentação de máquinas e equipamentos, os quais surgem como os principais pontos críticos, que necessitam de uma maior atenção. Essas partículas, ao serem liberadas na atmosfera, comprometem não apenas a qualidade do ar local, mas podem ser transportadas por longas distâncias, o que contribui para problemas atmosféricos adversos em outras regiões (Freitas et al., 2022). O impacto das emissões vai além da parte ambiental, ela se estende de maneira preocupante à saúde humana (Santos et al., 2022; Morozesk et al., 2021), sendo associadas a uma série de problemas, como respiratórios, cardiovasculares, entre outros (Gonçalves et al., 2023).

A influência desses poluentes nas doenças cardiovasculares possui características particulares, predominantemente afetando adultos e idosos, com uma magnitude inferior em comparação com as doenças respiratórias, as quais apresentam um efeito mais agudo (Braga et al., 2007).

O reconhecimento desses riscos à saúde pública é crucial para promover medidas regulatórias e práticas mitigadoras fundamentais, envolvendo não apenas a preservação do meio ambiente, mas também a proteção da qualidade de vida das populações impactadas.

Nesse sentido, o monitoramento da qualidade do ar é de extrema importância, pois desempenha um papel fundamental ao mensurar as concentrações dos poluentes atmosféricos e oferecer

informações sobre as atuais condições da qualidade do ar, estabelecendo um histórico de dados, o que ajuda os responsáveis na tomada de decisões (Vormittag et al., 2021).

A implementação de tecnologias mais limpas e eficientes, aliada a uma revisão crítica das regulamentações existentes, é imprescindível para que se garanta o direito constitucional de saúde e qualidade de vida por meio de um ambiente ecologicamente equilibrado (Brasil, 1988).

Nesse contexto, Itabira é um município localizado no Estado de Minas Gerais e é conhecido como “cidade do ferro”, devido ao fato da Companhia de Mineração Vale do Rio Doce, atualmente conhecida como Vale, ter se estabelecido na região há mais de meio século. A exportação do minério de ferro é a principal atividade econômica do município. Além disso, Itabira se localiza próximo a região conhecida

como Vale do Aço, por abrigar um dos maiores parques industriais de siderurgia da América Latina (Freitas et al., 2022).

Assim, devido ao fato de Itabira e seu entorno apresentarem diversas fontes contribuidoras de material particulado, entre outros poluentes, este estudo pretende realizar uma análise comparativa da qualidade do ar entre os municípios da região que possuem dados disponíveis, de modo a identificar o perfil de emissões em cada local, destacando as diferenças e similaridades. Essa análise permitirá uma compreensão mais aprimorada dos padrões de emissão de material particulado nos municípios analisados e a identificar as regiões de maior preocupação, onde a qualidade do ar pode estar afetando negativamente a saúde pública. Esses resultados podem contribuir para a conscientização pública e o engajamento das comunidades afetadas.

METODOLOGIA

O presente trabalho teve como intuito comparar a qualidade do ar em Itabira com outros municípios que possuem atividades de mineração e monitoramento de MP_{10} .

A seguir, foram detalhadas as etapas seguidas na pesquisa e os procedimentos que foram executados, de modo a assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos.

Área de estudo

Itabira (Figura 1) é um município que está localizado a aproximadamente 100 km a nordeste da capital mineira Belo Horizonte e do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, e a oeste da região Metropolitana do Vale do Aço, que inclui as cidades de Ipatinga, Santana do Paraíso, Coronel Fabriciano e Timóteo (Freitas et al., 2022).

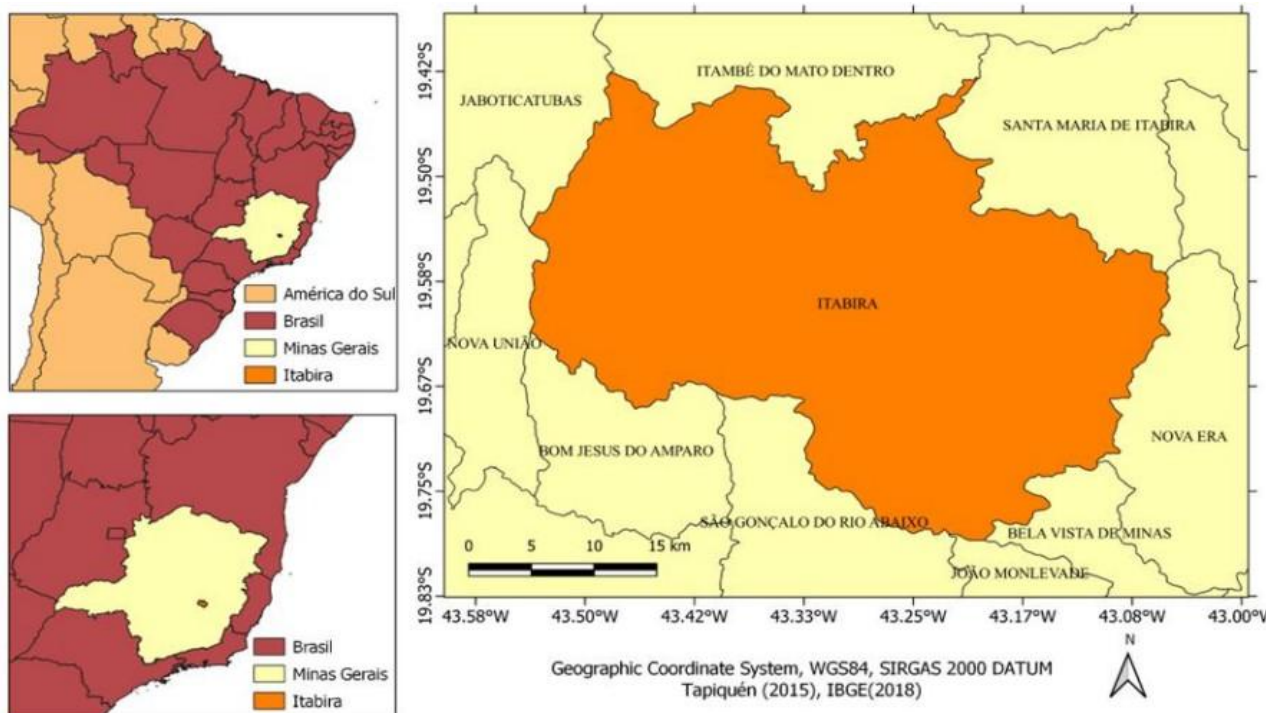


Figura 1 - Localização do município de Itabira, Minas Gerais. **Fonte:** Freitas et al. (2022).

De acordo com o censo feito no ano de 2022, a população do município foi estimada em 113.343 pessoas, possuindo uma área de

1.253,704 km², com densidade demográfica, portanto, de 90,41 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). Dentre as atividades

industriais, podemos citar a mineração, principal atividade econômica do município de Itabira, Minas Gerais.

Itabira possui clima tropical de altitude, com invernos secos e verões úmidos. As chuvas ocorrem no período de outubro a março e a estação seca de abril a setembro. Os maiores índices pluviométricos são registrados de novembro a janeiro. Os ventos predominantes são na direção nordeste, intensificando-se de agosto a dezembro, sendo que a altitude e a rugosidade do relevo influenciam na direção e na velocidade do vento, alterando o padrão de circulação (Santi et al., 2000).

Devido à presença de extensas jazidas de minério de ferro dentro do perímetro urbano, onde a remoção é realizada por meio de lavra mecanizada a céu aberto, ocorre uma emissão significativa de material particulado na atmosfera, especialmente devido ao fato de que as minas se localizam no entorno da cidade. Isso acontece durante processos como escavação, explosão, ressuspensão de material pela movimentação de escavadeiras, tratores e caminhões, além de perdas em transportes terrestres e ferroviários e devido a ação dos ventos nos depósitos a céu aberto (Braga et al., 2007).

De acordo com Santi et al. (2000), as minas circundam o município de Itabira, estando localizadas muito próximas às regiões habitadas do mesmo, se localizando mais na parte norte e oeste, onde todas são a céu aberto, com isso, há uma enorme ocorrência de eventos indesejáveis relacionados à alteração da qualidade do ar devido à emissão de material particulado.

Dados e métodos

Os dados utilizados neste estudo foram reti-

rados do Portal ItabirAR, que disponibiliza os dados de qualidade do ar em tempo real para o município de Itabira, e do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), para obtenção dos dados dos outros municípios.

A seleção das cidades mineradoras a serem analisadas neste estudo foi feita de modo a identificar municípios no entorno de Itabira que, além de possuírem atividades de mineração, possuem população igual ou inferior a Itabira e disponibilidade de dados de MP₁₀, de pelo menos uma estação de monitoramento do ar a partir do ano de 2015.

Essa seleção permite realizar uma melhor comparação entre os municípios selecionados, o que proporciona uma visão ampla sobre se há influência das atividades de mineração na qualidade do ar local e na saúde pública.

Durante o período de execução desse estudo, havia disponibilidade de dados até o ano de 2022, assim, o período de análise considerado foi de 2015-2022. Os dados foram tratados realizando médias diárias, mensais e anuais de cada município. Também foi determinado o número de vezes que os níveis de material particulado excederam os limites anuais estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 491 de 2018.

Para garantir que as médias dos dados analisados fossem representativas, utilizou-se a metodologia de validação empregada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019). A validação dos dados é necessária para garantir a representatividade dos dados do estudo. A tabela 1 mostra os critérios de validação adotados para as diferentes médias temporais dos dados de qualidade do ar analisados nesse estudo.

Tabela 1 - Critérios de validação para as médias dos dados de qualidade do ar.

Tipo de média	Critério de Validação
Média horária	$\frac{3}{4}$ das médias válidas na hora
Média diária	$\frac{2}{3}$ das médias horárias válidas no dia
Média Mensal	$\frac{2}{3}$ das médias diárias válidas no mês
Média Anual	$\frac{1}{2}$ das médias diárias válidas obtidas no ano

Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2024).

Informações complementares sobre internações por doenças respiratórias no período de 2015-2022 também foram adquiridas a partir do DATASUS. A correlação entre os dados de saúde pública e a qualidade do ar permite obter uma perspectiva entre o número de internações com a

poluição decorrente do MP₁₀, analisando os períodos com maior risco para a população.

Para auxiliar na discussão dos resultados e obter uma visão mais ampla do ambiente analisado também foram incorporados outros dados relevantes para comparação dos municípios, como,

sociais, econômicos e geográficos. Essas informações foram obtidas a partir do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Uma análise mais abrangente desses fatores contribui para uma melhor compreensão dos

impactos da atividade mineradora em cada localidade, permitindo a formulação de estratégias mais eficazes para lidar com os desafios sociais, econômicos e geográficos decorrentes dessa atividade.

RESULTADOS

Seleção dos municípios

Após a aplicação dos critérios de seleção dos municípios no entorno de Itabira, os que satisfizeram os requisitos foram: Brumadinho, Paracatu e Timóteo.

A tabela 2 mostra os dados de cada uma das estações localizadas nos municípios selecionados,

detalhando os dados de cada uma das estações de monitoramento da qualidade do ar em cada um dos municípios que satisfizeram os requisitos, incluindo informações como nome das estações, ano de instalação, empresa responsável pela operação, localização geográfica, que será importante para obter a posição geográfica de cada uma.

Tabela 2 - Dados das estações de monitoramento da qualidade do ar em cada município selecionado

Município	Nome da estação no (SITE)	Empresa Responsável	Ano de instalação	Coordenadas Geográficas	
				Sul	Oeste
Itabira	Estação Fênix (EAMA 31)	Vale S.A.	2006	19°39'15.00"	43°14'14.68"
Itabira	Estação Major Lage (EAMA 21)	Vale S.A.	2001	19°38'08.9"	43°14'13.02"
Itabira	Estação Panorama (EAMA 41)	Vale S.A.	2001	19°38'4.10"	43°13'19.10"
Itabira	Estação Pará (EAMA 11)	Vale S.A.	2001	19°37'10.00"	43°13'50.85"
Brumadinho	Estação E.M. Pe. Vicente Assunção	Vale S.A.	2019	20°8'52.43"	44°11'59.62"
Brumadinho	Estação Comunidade do Feijão	Vale S.A.	2015	20°8'9.13"	44°6'32.19"
Brumadinho	Estação Parque da Cachoeira	Vale S.A.	2019	20° 8'40.02"	44° 9'28.40"
Paracatu	Estação Clube da União	Kinross Gold Corporation	2011	17°12'56.88"	46°53'10.86"
Paracatu	Estação Copasa	Kinross Gold Corporation	2011	17°12'19.74"	46°52'27.36"
Paracatu	Estação Lagoa Trindade Rodrigues	Kinross Gold Corporation	2011	17° 9'1.47"	46°49'58.50"
Paracatu	Estação São Domingos	Kinross Gold Corporation	2011	17°11'53.82"	46°52'27.36"
Paracatu	Estação Sérgio Ulhoa	Kinross Gold Corporation	2011	17°13'28.44"	46°52'30.60"
Timóteo	Estação Cecília Meireles	Aperam Inox América do Sul S.A.	2014	19°32'47.00"	42°39'23.00"
Timóteo	Estação Escola Sementinha	Aperam Inox América do Sul S.A.	2014	19°32'12.00"	42°40'16.00"
Timóteo	Estação Hospital Vital Brazil	Aperam Inox América do Sul S.A.	2014	19°32'59.00"	42°38'33.00"

Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2024).

O conhecimento da localização de cada uma das estações permite uma avaliação espacial dos poluentes e assim implementar medidas de controle mais eficazes em cada região.

A figura 2 ilustra a localização espacial de cada município, facilitando a visualização das

posições relativas de cada um. Pode-se notar que Paracatu se localiza a noroeste de Itabira, distando em linha reta 470,35 km; Brumadinho está a sudoeste distando 116,86 km e, finalmente, Timóteo se localiza a leste de Itabira e dista 60,15 km em linha reta.



Figura 2: Localização relativa de cada sede de município.

A seguir são apresentadas as imagens da localização de cada uma das estações em sua respectiva cidade para obter uma visão espacial de onde estão localizadas. Assim, pode-se notar, na figura 3, que Itabira possui 4 estações de monitoramento do ar, dispostas de modo predo-

minantemente latitudinal, na zona urbana da cidade.

Pode-se também verificar a posição de cada uma delas em relação ao complexo minerador, o qual se encontra bem próximo a localização da zona urbana.



Figura 3 - Localização das estações de Itabira.

Na figura 4 verifica-se que Brumadinho possui três estações de monitoramento, dispostas de modo longitudinal, sendo que duas estações se

encontram relativamente próximas ao complexo minerador, e uma na zona urbana da cidade, em posição mais afastada.



Figura 4 - Localização das estações de Brumadinho.

Na figura 5 verifica-se que a região de Paracatu possui cinco estações de monitoramento, sendo quatro delas localizadas na parte sul do

complexo minerador, o qual se encontra bem próximo da zona urbana, e uma estação a nordeste desta zona.

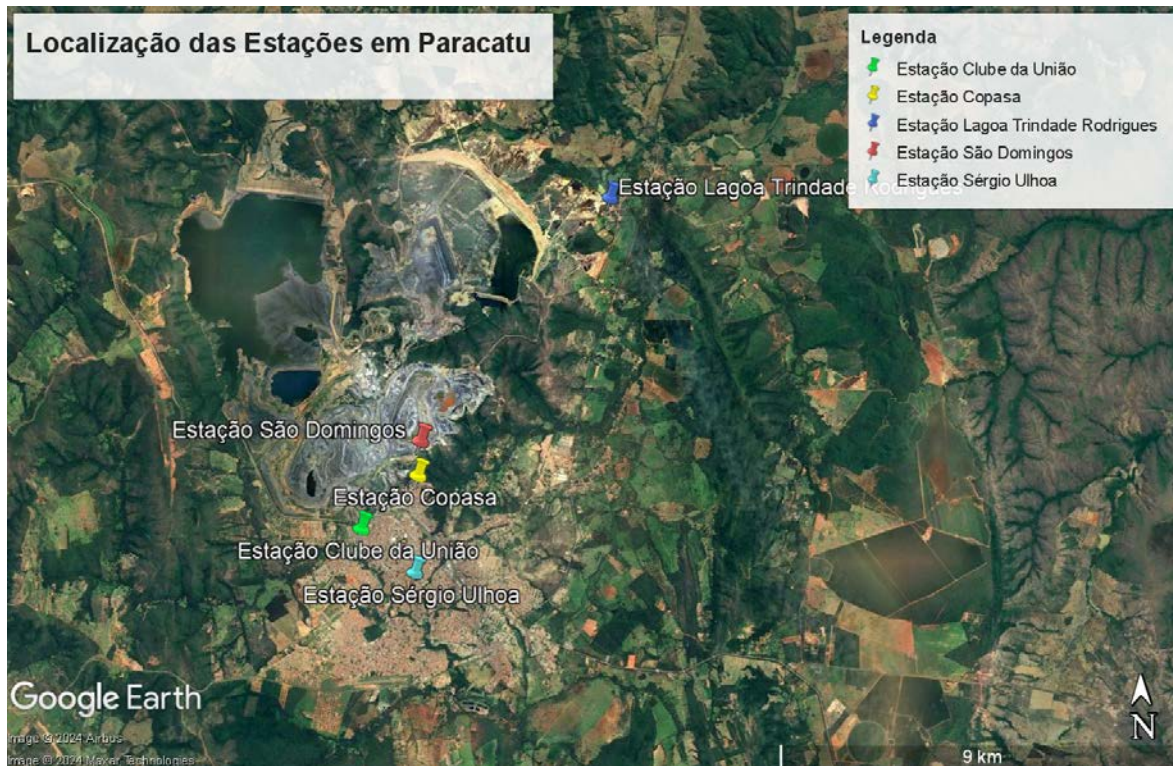


Figura 5 - Localização das estações de Paracatu.

Finalmente, o município de Timóteo possui três estações de monitoramento (Figura 6), dispostas longitudinalmente. A área de mineração é menor do que nos outros municípios, estando localizada

na porção centro-noroeste. É possível também verificar a posição da principal indústria siderúrgica da cidade, localizada na parte norte-nordeste de Timóteo.



Figura 6 - Localização das estações de Timóteo.

Parâmetros das cidades analisadas

Dados econômicos e demográficos retirados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) também foram utilizados para melhor compreensão do contexto socioeconômico de cada município.

Assim, na tabela 3, pode-se verificar o com-

parativo entre os municípios analisados, sendo que Itabira se destaca com a maior população e o maior PIB per capita. Entretanto, a cidade possui a maior área urbanizada e uma baixa porcentagem de arborização em vias públicas, o que pode influenciar negativamente na qualidade do ar.

Tabela 3 - Parâmetros das cidades analisadas (Fonte: IBGE, 2024).

Cidades / Índices	Brumadinho	Itabira	Paracatu	Timóteo
População (hab)	38.915	113.343	94.023	81.579
PIB per capita (R\$)	112.233,99	123.006,06	76.144,41	61.482,00
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	0,747	0,756	0,744	0,770
Área do município (km ²)	639,434	1.253,704	8.231,029	144,381
Área urbanizada (km ²)	23,02	25,63	18,95	18,13
Arborização de vias públicas (%)	53,9	25,2	20	93,1
Densidade demográfica (hab/km ²)	60,86	90,41	11,42	565,03

Por exemplo, Khan et al. (2022) encontraram que as áreas mais poluídas no Paquistão tinham os níveis de vegetação mais baixos, enquanto as áreas com baixa concentração de poluição atmosférica tinham mais cobertura vegetal. Além disso, os autores verificaram que menos vegetação também foi associada a uma taxa de mortalidade mais elevada.

Por outro lado, o município de Timóteo,

apesar de possuir o menor PIB per capita, possui uma maior arborização nas vias públicas (Tabela 3), a menor área urbanizada, e o maior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), mostrando os esforços para minimizar possíveis impactos gerados pela mineração e atividades de siderurgia.

A maior densidade demográfica também se encontra nesse município, o que pode ser um

problema em termos de qualidade do ar, uma vez que Timóteo tem a menor área total entre as cidades analisadas (Tabela 3), o que pode resultar em uma alta concentração de poluentes e maiores impactos à saúde.

O município de Paracatu possui a maior extensão territorial, e a menor densidade demográfica dentre as cidades, o que pode ser vantajoso em relação a dispersão dos poluentes. Contudo, Paracatu apresenta a menor porcentagem de arborização das vias públicas (Tabela 3).

Finalmente, Brumadinho é a menor cidade quando se diz respeito à população, porém, possui um alto PIB, o que indica uma intensa atividade econômica, mostrando também uma alta porcentagem de arborização, indicando esforços para minimizar possíveis impactos.

Análise dos dados de qualidade do ar

Após a seleção dos municípios, foram obtidos

os dados de cada uma das estações (Tabela 2) para o período de 2015 a 2022. Os dados foram organizados em médias entre as estações do mesmo município e, em seguida, foi realizada a comparação entre as cidades, de maneira mensal e anual. Assim, na figura 7, pode-se verificar o comparativo entre os municípios da média mensal do MP₁₀ no período analisado.

De acordo com a figura 7 é possível observar que os níveis de concentração de material particulado tendem a crescer em todas as cidades nos meses de junho até setembro, com pico em setembro. Nesses meses a precipitação tende a ser menor, por ser o período de estiagem, consequentemente, o clima mais seco e a temperatura mais fria resultam em uma menor dispersão dos poluentes e, assim, acarretando em um maior prejuízo para a saúde pública.

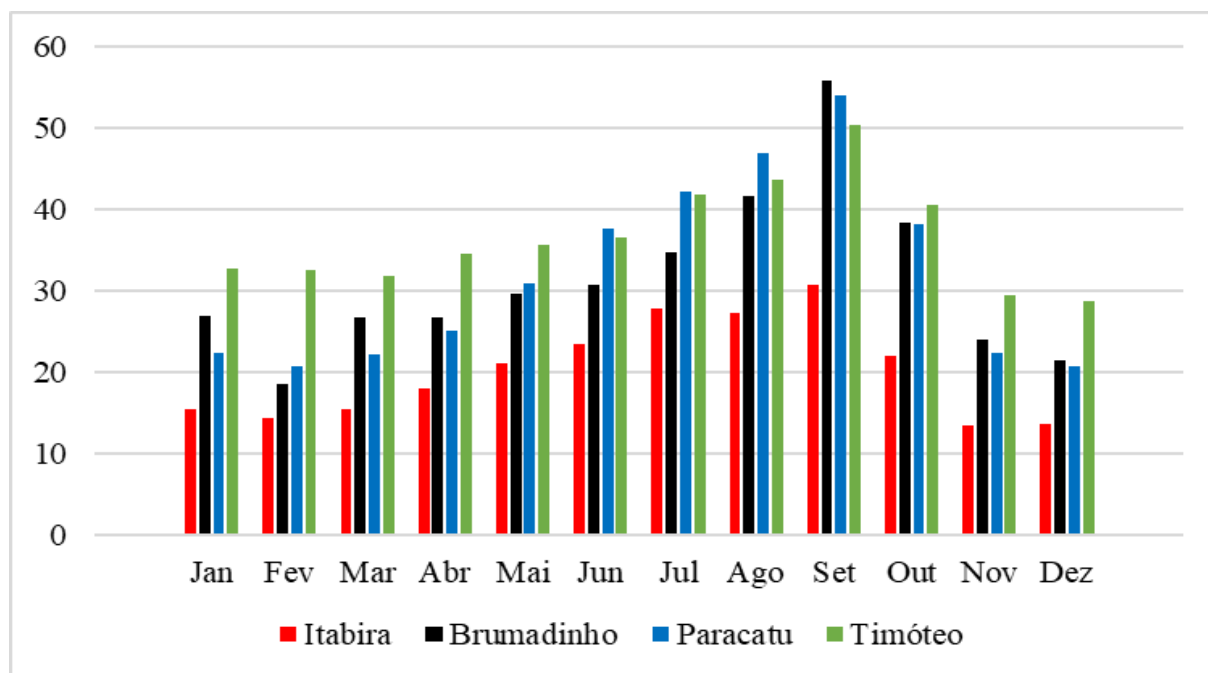


Figura 7 - Média mensal de MP₁₀ para cada um dos municípios analisados.

Pode-se notar que no mês de pico, em setembro, o município de Brumadinho é a cidade que apresenta as mais altas concentrações mensais de MP₁₀, seguido pelos municípios de Paracatu, Timóteo e Itabira. Ressalta-se que Brumadinho dista 36,34 km de Belo Horizonte em linha reta e, portanto, pode sofrer também com a poluição advinda de outras regiões. Além disso, pode-se notar na figura 7, que, excetuando-se o período de estiagem (junho a setembro), todos os outros meses apresentam as mais altas concentrações na cidade de Timóteo. Na figura 8 pode-se verificar as médias anuais de MP₁₀ para cada um

dos municípios, de 2015 até o ano de 2022.

Conforme mostra a figura 8, podemos observar as variações na concentração de material particulado (MP₁₀) durante o período analisado. Itabira demonstra poucas variações entre os anos na concentração de MP₁₀, exceto por uma redução entre 2016 e 2018. Brumadinho, por outro lado, mostra uma queda significativa em 2018, ficando em uma faixa entre 25-30 µg/m³. Paracatu também apresenta pequenas variações no período analisado.

Finalmente, Timóteo mostra um crescimento preocupante na concentração de MP₁₀, atingindo seu ápice em 2022.

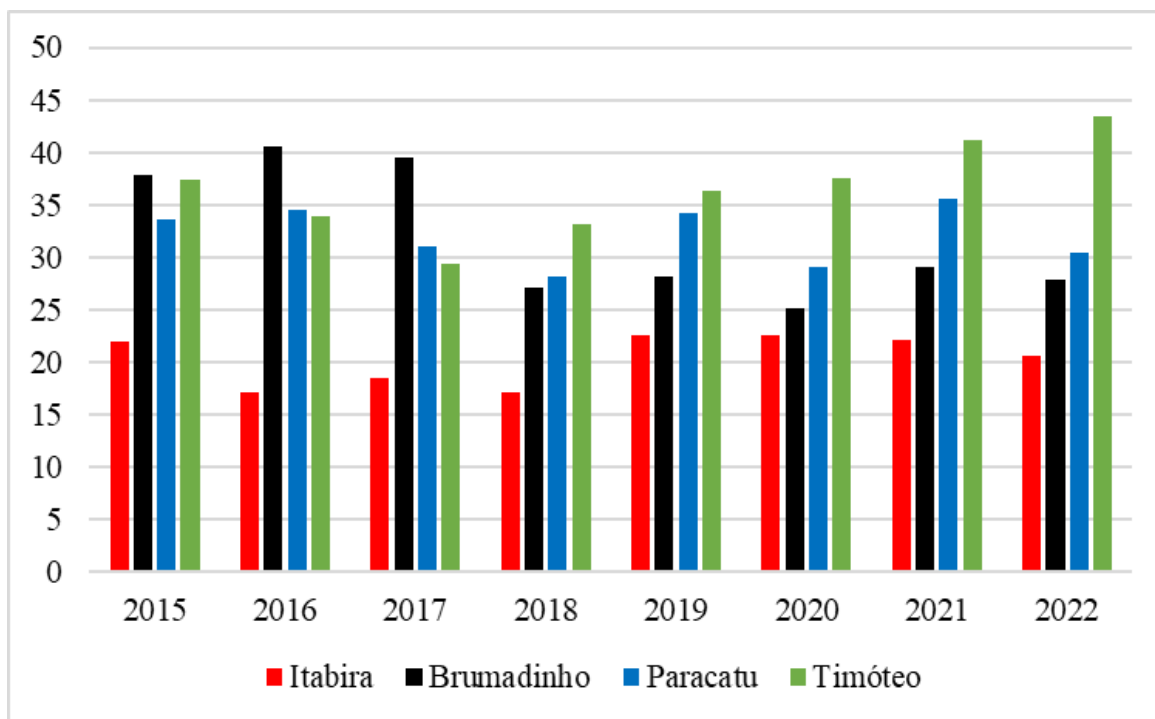


Figura 8 - Média anual de MP_{10} para cada um dos municípios selecionados.

Em termos de atendimento à Resolução Conama 491 de 2018, a figura 9 apresenta a soma do número de ultrapassagens, considerando as médias anuais em cada localidade no período de 2015 a 2022. As siglas PI1, PI2, PI3 e PF significam Parâmetro Intermediário 1, 2, 3 e Parâmetro Final da Resolução.

Pode-se notar que, de 2015 a 2022, houve 8 ultrapassagens do PF em Timóteo, Paracatu e

Brumadinho. O PF era o limite recomendado pela OMS, até que em 2021, esses valores foram revistos. Contudo, até o momento de elaboração desse artigo, não foi feita a atualização da Resolução Conama considerando esses novos valores. Itabira teve 5 ultrapassagens do PF e é a única cidade que não apresenta violações das médias anuais de MP_{10} para os outros parâmetros.

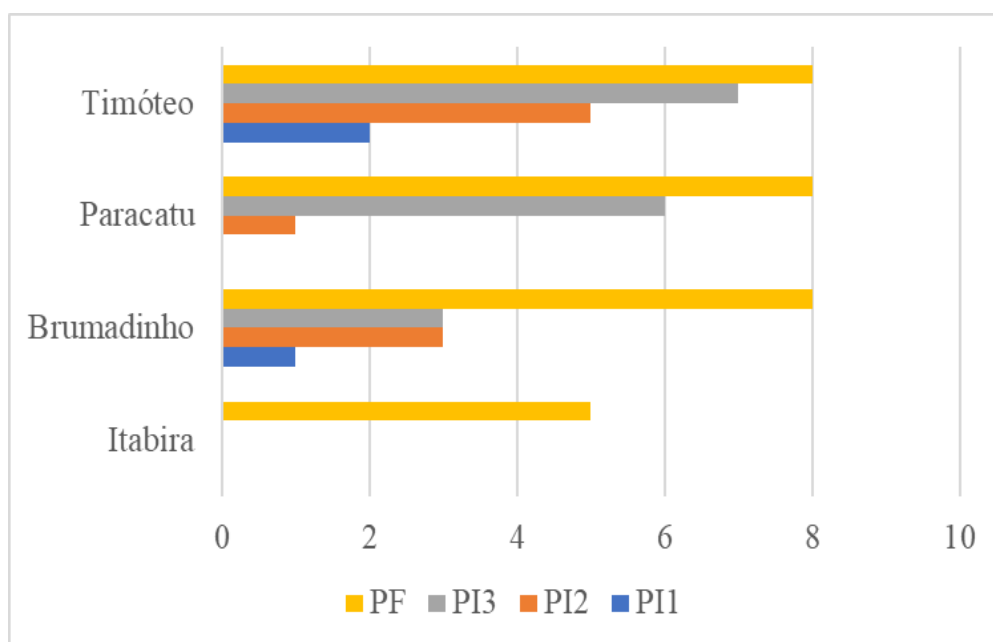


Figura 9 - Número de ultrapassagens do MP_{10} para as médias anuais em cada um dos municípios selecionados.

Com relação ao PI3, Timóteo e Paracatu são as cidades que apresentam o maior número de violações.

A seguir é apresentada a análise dos dados de

saúde em termos de número de internações por doenças respiratórias a cada mil habitantes nos municípios. A figura 10 mostra a soma mensal de internações por mil habitantes ao longo de todos

os anos analisados, permitindo identificar os meses mais críticos. Já a figura 11 apresenta a

soma total anual de internações por mil habitantes, considerando todos os meses do ano.

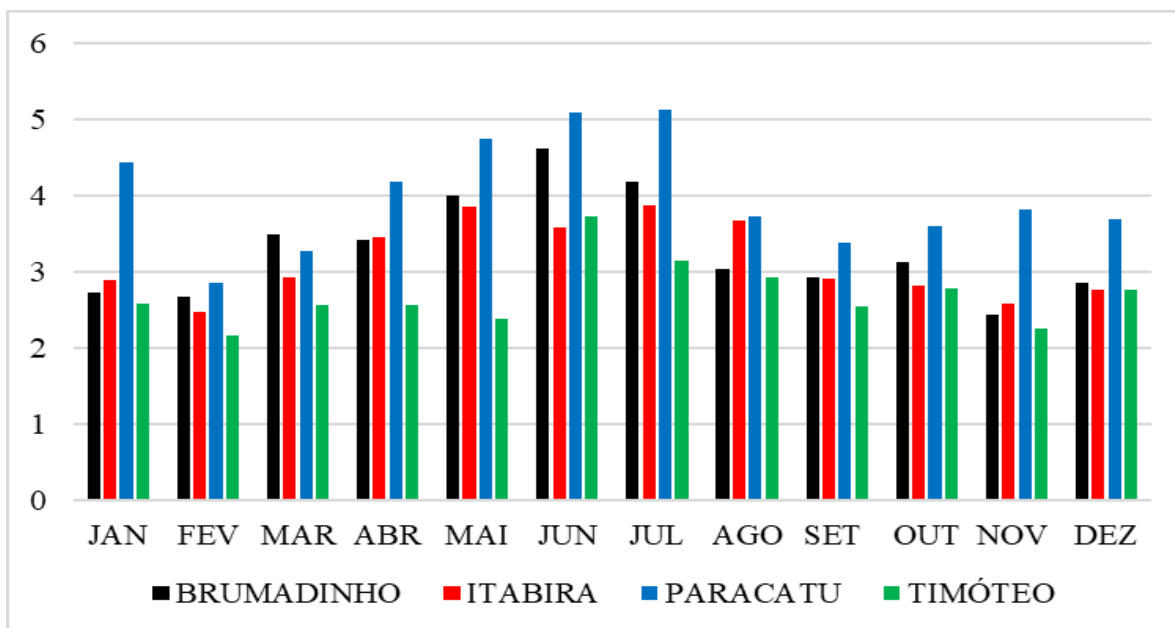


Figura 10 - Gráfico comparativo mensal do número de internações por doenças respiratórias por mil habitantes

Na figura 10 nota-se que os níveis de internação por local de residência mostram picos durante os meses mais frios, especialmente junho e julho, mostrando uma relação direta entre os períodos mais secos, de baixas temperaturas e a maior concentração de MP₁₀.

Isso indica que em condições que o ar está mais frio o material particulado tende a se acumular mais próximo ao solo, tendo em vista que há uma menor dispersão do mesmo no período do inverno.

Essa maior exposição a esse poluente pode influenciar diretamente na saúde pública, gerando

assim uma maior taxa de internação por doenças respiratórias nesses meses.

Contudo, verifica-se que não há um pico de internações em setembro, correspondendo ao pico de concentração de MP₁₀.

Destaca-se que Paracatu, com exceção do mês de março, apresenta o maior número de internações em relação aos outros municípios, ultrapassando cinco nos meses de junho e julho.

Por outro lado, Timóteo apresenta o menor número em todos os meses do ano, com exceção do mês de junho (Figura 10).

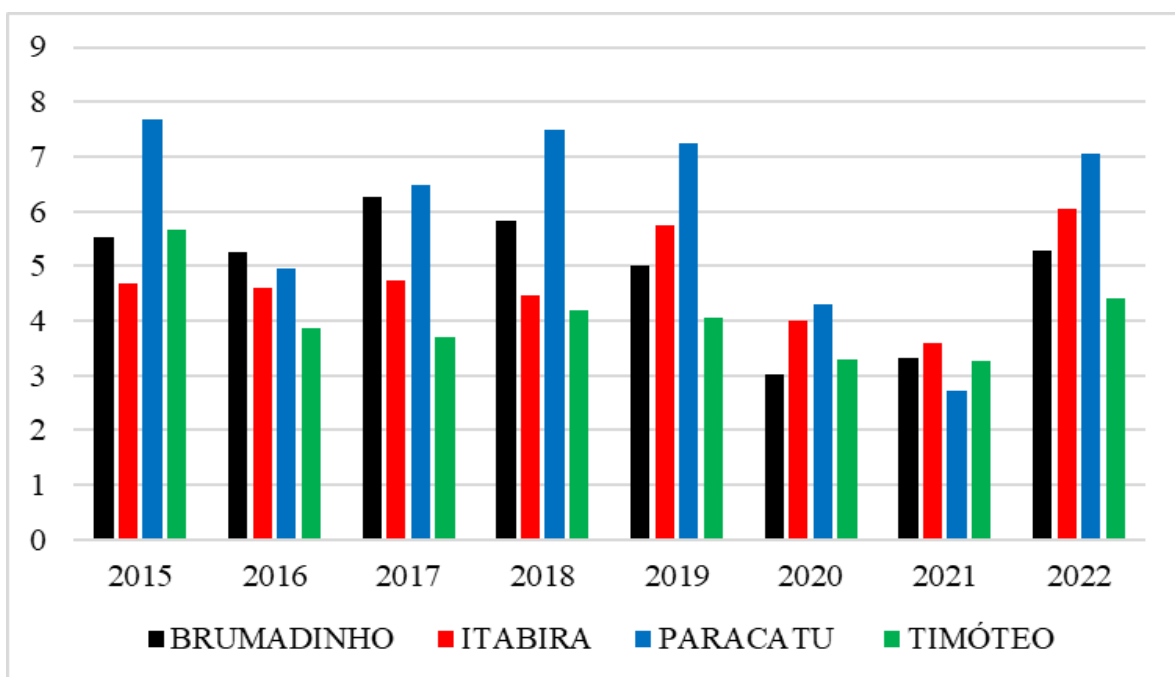


Figura 11 - Gráfico comparativo anual do número de internações por doenças respiratórias por mil habitantes.

Os dados coletados dos municípios revelam uma situação preocupante em relação ao número de internações a cada 1000 habitantes a cada ano, conforme figura 11, principalmente em relação a Paracatu que ultrapassou a marca de sete internações nos anos de 2015, 2018 e 2022, respectivamente.

Apesar de Timóteo apresentar os maiores índices de concentração de material particulado de 2018 em diante, é o município que menos registra internações por doenças respiratórias, exceto nos anos de 2015, 2020 e 2021. Isso se reflete em seu IDH, sendo o maior entre os municípios analisados.

Itabira, por sua vez, apresenta as menores taxas de concentração de MP₁₀. No entanto, essa baixa concentração não se reflete em uma redução das internações, sendo um dos municípios que mais registra casos de internações por doenças respiratórias, especialmente em 2021, quando superou os números de todos os outros municípios. Isso poderia ser explicado por alguns motivos, como o fato de que Timóteo possui a maior porcentagem de arborização e a menor área urbanizada, enquanto que Itabira possui uma baixa porcentagem de arborização e a mais alta área urbanizada em relação aos outros municípios.

Um outro motivo pode estar relacionado ao fato de que a baixa concentração de MP₁₀ não é o único fator determinante para a saúde respiratória.

Deve-se ressaltar que o comparativo entre concentrações de MP₁₀ e número de internações é limitada devido ao fato de que está se considerando um único poluente e a poluição atmosférica é uma combinação complexa de poluentes, além do fato de que as internações por doenças respiratórias possuem outras causas. De fato, segundo a OMS, 20% a 30% das doenças respiratórias podem ser relacionadas à poluição do ar (WHO, 2018).

Brumadinho mostra uma variação considerável, tanto na concentração de MP₁₀, quanto nas internações ao longo dos anos. O ano de 2017 foi o que apresentou o maior número de internações e foi também um ano de altas concentrações de MP₁₀ na cidade.

Já Paracatu mantém uma média entre 25-35 µg/m³ de MP₁₀ e apresenta os mais altos índices de internação em todos os anos, com exceção de 2016 e 2021. Nesse sentido, Paracatu é o município com o menor IDH e que possui a menor porcentagem de arborização em relação às outras cidades.

Diante dessas análises pode-se notar que existe uma relação entre a alta exposição ao material particulado (MP₁₀) e as condições respiratórias nas cidades estudadas, porém outros fatores também devem ser considerados, como os índices de arborização e os efeitos de outros poluentes, tanto de forma isolada, como a combinação deles.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise detalhada da qualidade do ar e da saúde pública nos municípios de Brumadinho, Itabira, Paracatu e Timóteo revelou que, embora Paracatu, Timóteo e Brumadinho sejam os municípios com as mais altas concentrações de material particulado (MP₁₀), os níveis de internação por doenças respiratórias mostram que outros fatores podem ser importantes, como os índices de arborização, o fato de que nem todas as doenças respiratórias estão relacionadas à poluição do ar, e que outros poluentes também precisam ser considerados, bem como a combinação dos mesmos.

Ressalta-se a necessidade da adoção de medidas mais rigorosas que ajudem a mitigar os impactos adversos que a mineração traz em relação a poluição atmosférica e, conseqüentemente, a saúde pública.

Assim, é de extrema importância que os órgãos reguladores estabeleçam limites mais rígidos para que as concentrações do material particulado gradualmente possam diminuir, até que atinjam as últimas diretrizes da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), a qual estabeleceu um novo limite em 2022, reduzindo a concentração dos poluentes para 15 µg/m³ na média anual, o que não foi observado em nenhum dos municípios.

Para que haja eficácia no trabalho dos órgãos regulamentadores é de extrema necessidade o monitoramento contínuo, o aprimoramento dos mecanismos de controle e a transparência para com a população, além de intensificar ações de educação ambiental e aumento dos índices de arborização. Essas iniciativas podem ajudar a reduzir a exposição das pessoas aos poluentes.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, A.L.F.; PEREIRA, L.A.A.; BÖHM, G.M.; SALDIVA, P.H.N. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, p. 58-71, 2001.
- BRAGA, A.L.F.; PEREIRA, L.A.A.; PROCÓPIO, M.; ANDRÉ, P.A.; SALDIVA, P.H.N. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, n. suppl 4, p. S570-S578, 2007.
- BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988. Acesso em: 5 novembro. 2023.
- BRITO, G.F.S.; SODRÉ, F.F.; ALMEIDA, F.V. O impacto do material particulado na qualidade do ar. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 5, p. 1335-1354, 2018.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Padrões de Qualidade do Ar, Qualidade do Ar**. Disp. em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2019.pdf>>. Acesso em: 30 novembro.
- DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, **Resolução N° 491, de 19 de Novembro de 2018**, ed. 223, p 155, 2018. Disp. Em <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895 > Acesso em: 10 novembro. 2023.
- ESPAÇO MEMÓRIA VALE. Disp. em: <<https://www.vale.com/pt/espaco-memoria>>;. Acesso em: 28 novembro. 2023.
- FREITAS, A.C.V.; BELARDI, R.M.; BARBOSA, H.M.J. Characterization of particulate matter in the iron ore mining region of Itabira, Minas Gerais, Brazil. **Atmosfera**, v. 35, n. 4, p. 781-802. 2022. <https://doi.org/10.20937/ATM.52987>.
- GONÇALVES, B.R.S.; RODRIGUES, N.B.F.; RIBEIRO, C.R. Poluição atmosférica e saúde humana no estado de São Paulo: uma revisão. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, Uberlândia, v. 19, p. e1911, 2023. DOI: 10.14393/Hygeia1964677.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disp. em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itabira/panorama>>. Acesso em: 20 novembro. 2023.
- INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE. Disp. em: <<https://energiaeambiente.org.br/>> Acesso em: 30 junho 2024.
- KHAN, M.K.; NAEEM K.; HUO C.; HUSSAIN, Z. The Nexus Between Vegetation, Urban Air Quality, and Public Health: An Empirical Study of Lahore. **Frontiers in Public Health**, 10, 2022. Disp. em: <<https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2022.842125>> Acesso em 10 agosto 2024.
- MECHI, A. & SANCHES, D.L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, p. 209-220, 2010.
- MOROZESK, M.; COSTA SOUZA, I.; FERNANDES, M.N.; SOARES, D.C.F. Matéria particulada transportada pelo ar em uma cidade de mineração de ferro: Caracterização, absorção celular e efeitos de citotoxicidade de nanopartículas de PM_{2.5}, PM₁₀ e PM₂₀ em células pulmonares humanas. **Environmental Advances**, v. 6, p. 100125, 2021.
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre**. Disp. em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>. Acesso em: 30 junho. 2024.
- PATRA, A. K.; GAUTAM, S.; KUMAR, P. Emissões e impacto na saúde humana de partículas provenientes da operação de mineração de superfície – Uma revisão. **Tecnologia e Inovação Ambiental**, v. 5, p. 233-249, 2016.
- PONTES, J.C.; LIMA, V.L.A.; SILVA, V.P. Impactos ambientais do desmonte de rocha com uso de explosivos em pedreira de granito de caicó-RN. **Geociências**, v. 35, n. 2, p. 267-276, 2016.
- SANTI, A.M.M.; SUZUKI, R.Y.; OLIVEIRA, R.G.D. Monitoramento da qualidade do ar no município de Itabira, MG: avaliação dos resultados em anos recentes (1997/99) e das perspectivas de modernização da rede de monitoramento no contexto do licenciamento ambiental corretivo da CVRD. In: 27° CONGRESSO INTER AMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Porto Alegre, 2000. **Anais...Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2000, p. 1-12,
- SANTOS, F.S.; PINTO, J.A.; MACIEL, F.; HORTA, F.S. Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP_{2.5}) em Belo Horizonte, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 371-381, 2019.
- SANTOS, J.M.; REIS JÚNIOR, N.C.; GALVÃO, E.S. (Org.). **Material particulado na atmosfera urbana e suas interações com a saúde humana**. Goiânia, GO: Alta Performance, 2022. 171 p.
- SINGH, V.V. & GAUTAM, S. Avaliação bibliométrica e cienciométrica do impacto ambiental e da sustentabilidade da mineração de minério de ferro a céu aberto: Uma análise abrangente. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 235, n. 4, p. 248, 2024.
- SOUZA, P.A; MELLO, W.Z.; MARIANI, R.L.; SELLA, S.M. Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP). **Química Nova**, v. 33, p. 1247-1253, 2010.
- VORMITTAG, E.M.; CIRQUEIRA, S.S.R.; WICHER NETO, H.; SALDIVA, P.H.N. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 7-30, 2021.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ambient (outdoor) air quality and health: key facts**. Geneva: WHO, 2018. Acesso em: 2 julho. 2024.

Submetido em 4 de julho de 2024

Aceito para publicação em 21 de agosto de 2024