



## Biomonitoramento da qualidade do ar com líquens no entorno de usinas de asfalto em Uberaba (Minas Gerais)

William Raimundo Costa<sup>1\*</sup>, Evaldo Maia<sup>2</sup>, Virginia Oliveira Coelho<sup>3</sup>, Ariana Thais Duarte<sup>4</sup>, Ana Carolina Pereira Barbosa<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Biólogo, doutorando em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Triângulo Mineiro (Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas – ICTE / Seção de Vigilância Ambiental em Saúde de Uberaba, MG. (\*Autor correspondente: williamraimundo.costa@hotmail.com)*

<sup>2</sup>*Biólogo Especialista em Hematologia, FAVENI Educacional / Seção de Vigilância Ambiental em Saúde de Uberaba, MG;*

<sup>3</sup>*Mestre em Ciências Ambientais – Monitoramento Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro / Seção de Vigilância Ambiental em Saúde de Uberaba, MG.*

<sup>4</sup>*Biomédica, Especialista em Vigilância Ambiental em Saúde – Universidade Estácio / Seção de Vigilância Ambiental em Saúde de Uberaba, MG;*

<sup>5</sup>*Graduanda em Ciências Biológicas – UNINTER / Seção de Vigilância Ambiental em Saúde de Uberaba, MG*

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 31/07/2025 – Revisado em: 11/08/2025 – Aceito em: 19/08/2025

### RESUMO

A poluição atmosférica representa um dos principais desafios ambientais e de saúde pública contemporâneos, com impactos severos especialmente em populações vulneráveis. Embora existam métodos consolidados para seu monitoramento, muitos municípios brasileiros ainda carecem de dados sistemáticos sobre a qualidade do ar. Uberaba (MG), apesar de apresentar elevada frota veicular e forte atividade industrial, não possui programa contínuo de avaliação da poluição atmosférica, o que evidencia uma lacuna importante no planejamento e na vigilância em saúde ambiental local. Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar os níveis de enxofre atmosférico e material particulado fino (MP10) em áreas residenciais no entorno de usinas de asfalto localizadas na região norte do município, utilizando líquens (*Parmotrema tinctorum*) como bioindicadores. A escolha metodológica baseou-se na viabilidade técnica e financeira da técnica de biomonitoramento, considerando a realidade de municípios com limitações orçamentárias. As análises indicaram acúmulo de enxofre em todas as unidades amostrais em comparação ao grupo controle, com destaque para a Rua das Usinas (4,00 mg/kg), valor três vezes superior ao registrado em área industrial previamente estudada na cidade. Em contrapartida, as concentrações de MP10 permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela legislação, ainda que com picos pontuais. Os resultados evidenciam exposição ambiental relevante e reforçam a importância de instrumentos acessíveis de avaliação da qualidade do ar para subsidiar ações de vigilância e mitigação de riscos à saúde coletiva.

**Palavras-Chaves:** Vigilância ambiental em saúde, Contaminação atmosférica, Saúde pública, Poluentes industriais

## Air quality biomonitoring using lichens near asphalt plants in Uberaba (Minas Gerais)

### ABSTRACT

Air pollution remains one of the leading global challenges for both environmental and public health, with disproportionate effects on vulnerable populations. Although established technologies exist for atmospheric monitoring, many mid-sized municipalities in Brazil still lack systematic data on air quality. Uberaba, a city in the state of Minas Gerais with a large vehicle fleet and significant industrial activity, is one such case where no formal air monitoring program is currently in place. Our study aimed to assess atmospheric sulfur levels and fine particulate matter (PM10) in residential areas surrounding asphalt plants in northern Uberaba. The methodology employed lichens (*Parmotrema tinctorum*) as bioindicators, offering a cost-effective and technically feasible approach suited to municipalities with limited resources. Laboratory analyses revealed significantly higher sulfur accumulation in all sampling points compared to the control group, with the highest levels recorded at Rua das Usinas (4.00 mg/kg), surpassing those found in heavily industrialized zones previously studied in the city. PM10 measurements, although within legal limits, showed episodic peaks. These findings highlight a relevant environmental exposure scenario and emphasize the value of accessible biomonitoring tools to support environmental surveillance and public health risk mitigation.

**Keywords:** Environmental health surveillance, Atmospheric contamination, Public health, Industrial pollutants.

Raimundo-Costa, W.; Maia, E.; Coelho, V. O.; Duarte, A. T.; Barbora, A. C. P. (2025). Biomonitoramento da qualidade do ar com líquens no entorno de usinas de asfalto em Uberaba (Minas Gerais). *Meio Ambiente (Brasil)*, v.7, n.3, p.196-208.



## 1. Introdução

A poluição atmosférica é atualmente um dos principais desafios ambientais e de saúde pública no mundo. Estima-se que 92% da população global esteja exposta a níveis preocupantes de poluentes no ar, resultando em cerca de 3 milhões de mortes prematuras por ano (WHO, 2024). Esses poluentes são emitidos tanto por fontes fixas, como por exemplo usinas termoeletricas, indústrias petroquímicas, cerâmicas, fertilizantes e usinas de asfalto, quanto por fontes móveis, especialmente a queima de combustíveis fósseis por veículos automotores (Szabo et al., 2003; De Souza et al., 2016).

Dentre esses poluentes, a presença de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) na atmosfera representa uma séria ameaça à saúde humana, podendo desencadear sintomas como irritação no nariz e garganta, seguidos de broncoconstrição e dispnéia, especialmente em indivíduos asmáticos (Dos Santos, 2022). Crianças, idosos e indivíduos com doenças respiratórias são particularmente vulneráveis aos seus efeitos, como apontado por Dias et al (2023), que, ao estudarem os impactos da poluição atmosférica na saúde respiratória da população residente em bairro Imperatrizense, na cidade de Imperatriz, MA, verificaram que a população mais afetada foram os idosos, os quais apresentaram os maiores índices de Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), pneumonia e bronquites. Gonçalves et al (2023), também apontam em estudo de revisão acerca de trabalhos que relacionaram poluentes atmosféricos e saúde humana um número expressivo de trabalhos que investigaram os efeitos da poluição do ar sobre as crianças e os idosos, considerados como grupos etários sensíveis, apontando ainda que a quase totalidade dos estudos que foram verificados na revisão mencionada evidenciaram correlação positiva entre a concentração de poluentes atmosféricos e o comprometimento da saúde humana.

Diante disso, o uso de líquens como bioindicadores tem se mostrado uma ferramenta eficaz para o biomonitoramento da qualidade do ar, dada sua sensibilidade à poluição atmosférica e capacidade de acumular compostos como o enxofre (Kemerich et al., 2025; Martins et al., 2001; Bakonyi et al., 2004; Saldiva, 2008).

O monitoramento da qualidade do ar constitui uma estratégia fundamental para subsidiar políticas públicas voltadas à gestão ambiental e à proteção da saúde coletiva, permitindo a detecção precoce de riscos e a identificação de fontes poluidoras. Métodos físico-químicos convencionais, como estações fixas de referência automatizadas, oferecem elevada precisão e sensibilidade, mas demandam investimentos elevados em aquisição, operação, manutenção e pessoal técnico especializado, o que os torna inviáveis para muitos municípios de pequeno e médio porte no Brasil (Ribeiro et al, 2023), o que reforça a importância de alternativas metodológicas mais acessíveis, como por exemplo o uso de bioindicadores.

Embora o uso de líquens como bioindicadores de poluentes atmosféricos já tenha sido amplamente documentado em ambientes urbanos e próximos a fontes industriais (Braz e Longo, 2021; Costa, et al, 2023; Gomez et al, 2024; Costa e Mineo, 2013; Martins et al, 2008), especialmente em estudos realizados em regiões como Rio Grande do Sul com a espécie *Parmotrema tinctorum* (Kock et al, 2018), existe ainda uma carência de pesquisas focadas em bioindicação de emissão de poluentes por usinas de asfalto, em especial acerca das respostas de líquens frente a essa fonte de poluentes.

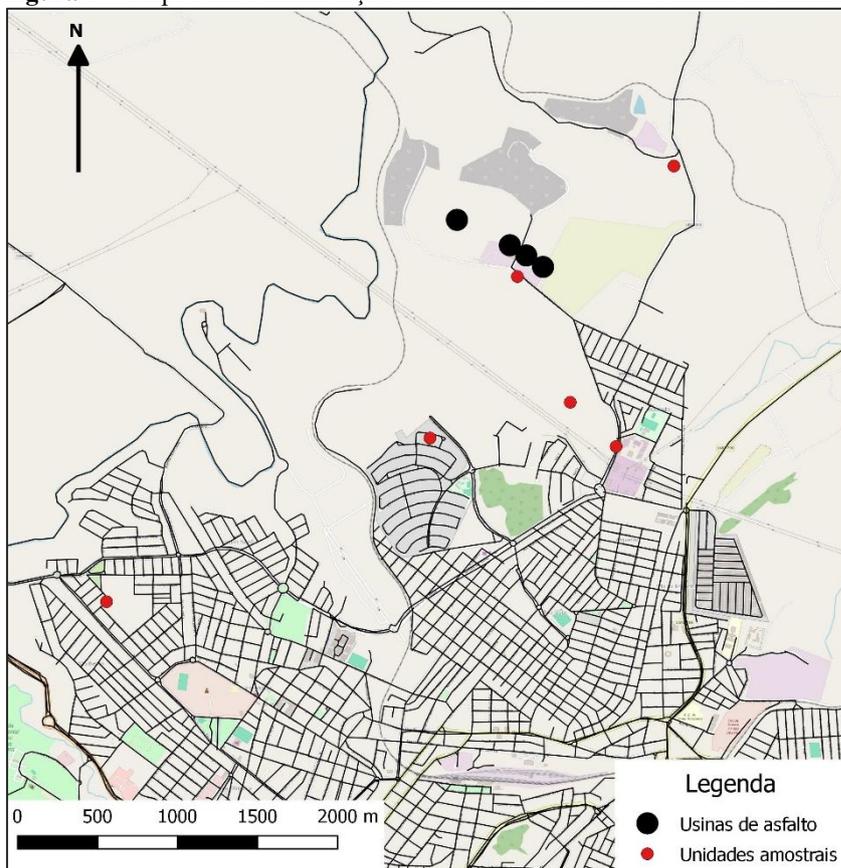
Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do ar em áreas urbanas sob influência direta de usinas de asfalto localizadas na região norte de Uberaba, utilizando o líquen *Parmotrema tinctorum* como bioindicador. A proposta baseia-se na aplicação de uma metodologia de baixo custo, replicável e tecnicamente adequada às limitações orçamentárias dos municípios, com potencial para subsidiar ações de gestão ambiental e vigilância em saúde.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Local de estudo

O estudo foi conduzido no município de Uberaba, localizado na região do Triângulo Mineiro, sudeste do Brasil. Com população estimada em 340.277 habitantes (IBGE, 2021) e área territorial de 4.523,96 km<sup>2</sup>, a cidade apresenta uma densidade demográfica de 65,43 hab/km<sup>2</sup>. O clima predominante é do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos (Köppen-Geiger, 2017) (Figura 1).

**Figura 1** – Mapa com a distribuição das unidades amostrais e usinas de asfalto.



Fonte: Vigilância Ambiental em Saúde, 2025

Uberaba possui quatro distritos industriais que, juntos, somam mais de 22 milhões de m<sup>2</sup>, além de diversas áreas com concentrações de atividades industriais menores. A concentração de usinas de asfalto na região norte do município motivou a escolha da área de estudo, com vistas a avaliar a dispersão de poluentes atmosféricos oriundos desses empreendimentos.

Seis unidades amostrais foram definidas estrategicamente para representar diferentes graus de proximidade em relação às fontes emissoras, sendo este o critério de definição dos seguintes pontos:

- Unidade amostral 1: Condomínio Cyrela;
- Unidade amostral 2: Jardim Eldorado;

- Unidade amostral 3: Área de pastagem a 1.500 m das usinas;
- Unidade amostral 4: Rua das Usinas;
- Unidade amostral 5: Proximidades da Chácara dos advogados;
- Unidade amostral 6: Bairro Tancredo Neves.

## 2.2 Coleta, preparo e exposição das amostras de líquens

Foi utilizada a espécie *Parmotrema tinctorum*, reconhecida na literatura científica pela sua sensibilidade a poluentes atmosféricos, especialmente ao enxofre (Raimundo Costa et al., 2019; Koch, 2016). Essa espécie é caracterizada por apresentar talo foliáceo, coloração variável entre cinza-metálico e cinza-esverdeado, córtex superior liso ou rugoso, presença de isídios nas cristas e medula branca. Os talos respondem positivamente ao teste “C” com hipoclorito de sódio (coloração alaranjada) e ao teste “K” com hidróxido de potássio (coloração avermelhada) (Fleig et al., 2008; Benatti & Marcelli, 2009).

As amostras foram coletadas em área considerada de referência, com baixa exposição à poluição atmosférica, denominada Reserva Particular do Patrimônio Natural Vale Encantado (RPPNVE), situada a cerca de 30 km ao norte da área urbana de Uberaba. Essa unidade de conservação possui aproximadamente 40 hectares de vegetação de Cerrado e está localizada em área livre de indústrias e tráfego intenso de veículos (Raimundo Costa & Mineo).

Após as coletas, os talos de *Parmotrema tinctorum* foram afixados em suportes padronizados e expostos por 30 dias nas seis unidades amostrais descritas. Todas as amostras foram expostas em triplicata, para aumentar a confiabilidade dos dados estatísticos (Bruns, 2011). O objetivo foi permitir a bioacumulação de enxofre presente na atmosfera, resultante das atividades das usinas de asfalto.

## 2.3. Análise do teor de enxofre nas amostras de líquens

As amostras de líquens foram submetidas a digestão ácida ( $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ , 3:1). Pesou-se 0,25 g da amostra de líquen em balança analítica transferindo quantitativamente para tubo digestor de 200 ml. Em seguida, adicionou-se 10 ml da mistura dos ácidos nítrico e perclórico (PA) na proporção de 3:1. Os tubos digestores com as amostras e uma amostra de branco foram digeridos em um bloco digestor macro de tubos em temperatura de 150 °C, por 2 horas. As análises do teor de enxofre nas amostras de líquens foram realizadas no equipamento MP AES - 4200 da Agilent.

## 2.4. Avaliação de material particulado (MP10)

Com o apoio da Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM, foram realizadas coletas de material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 10  $\mu\text{m}$  (MP10) na área do Condomínio Cyrela. As amostragens seguiram o padrão de 24 horas e foram comparadas aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 506/2024 (120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 2024 e 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a partir de 2025), conforme dados da tabela 02.

## 2.5. Mapeamento das unidades amostrais

A localização geográfica dos pontos de exposição foi registrada e representada em mapa temático utilizando o software QGIS, versões 2.18 e 3.16. O uso do geoprocessamento permitiu uma visualização espacial precisa da distribuição das unidades amostrais e facilitou a análise da dispersão dos poluentes atmosféricos na área de estudo.

### 3. Resultados

#### 3.1 Caracterização dos empreendimentos monitorados

Foram identificadas quatro usinas de asfalto operando na região norte do município de Uberaba. Dentre estas, três operam de forma fixa e uma de forma itinerante, com unidade acoplada a caminhão tipo carreta. As atividades de usinagem do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) ocorrem, predominantemente, nos períodos da manhã.

Destaca-se que a usina itinerante adota práticas distintas em relação às demais, utilizando óleo mineral derivado de petróleo (denominado AGX) para o aquecimento do CAP, enquanto as outras usinas declararam utilizar óleo vegetal recuperado (OVR). Essa diferença de combustível é relevante, considerando o potencial emissor de enxofre do óleo AGX.

Durante verificação realizada em agosto do ano de 2024 constatou-se significativa emissão de efluentes atmosféricos pela usina móvel itinerante. As imagens registradas indicam ausência de mecanismos eficazes de retenção de poluentes, como filtros de manga (Figuras 2 e 3).



**Figura 02** – Usina itinerante durante período de funcionamento. **Fonte:** dos Autores, 2024



**Figura 03** - – Usina itinerante durante período de funcionamento. **Fonte:** dos Autores, 2024

Além disso, em uma segunda usina verificada *in loco*, embora não tenham sido observadas falhas técnicas evidentes, verificou-se o uso no processo de aquecimento do CAP de diesel S500 como combustível, conhecido por gerar elevada emissão de enxofre, o que pode contribuir para os odores e incômodos relatados por moradores da região (Jambeiro Brandão et al, 2021).

#### 3.2 Análise de enxofre nos líquens expostos

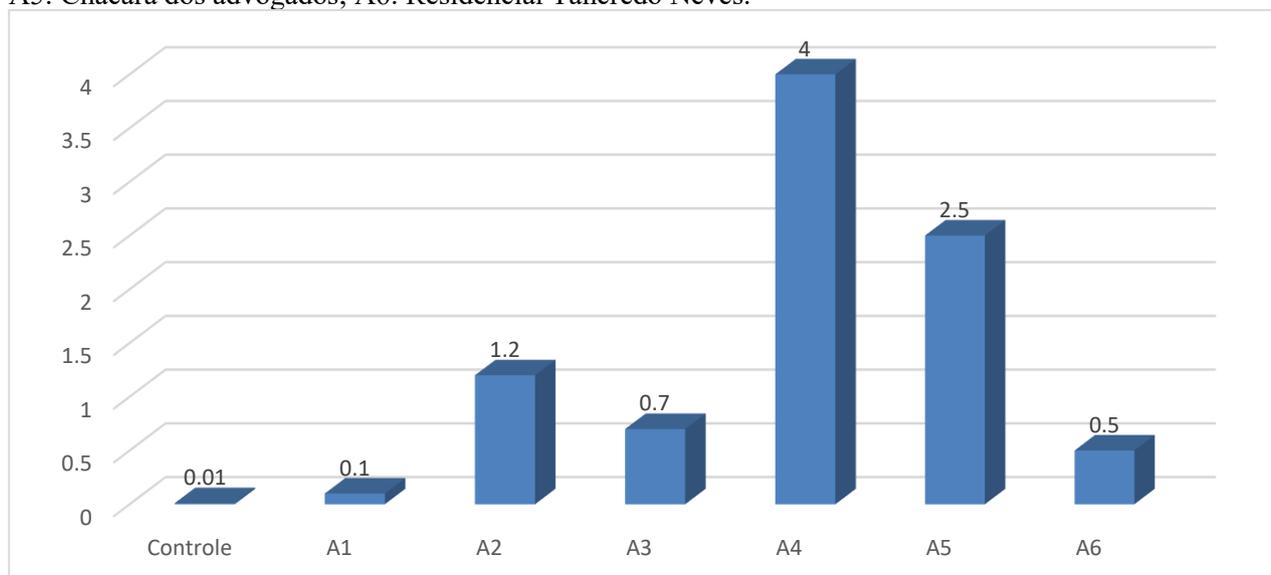
As análises laboratoriais dos talos de *Parmotrema tinctorum*, conduzidas em parceria com a Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), revelaram acúmulo significativo de enxofre em todas as unidades amostrais em comparação com o grupo controle. Conforme dados apresentados na tabela 01, na unidade amostral localizada na Rua das Usinas verificou-se valor 400 vezes maior que o verificado no grupo controle enquanto o menor valor foi observado no Condomínio Cyrela (0,10 mg/kg), ainda assim dez vezes superior ao controle. Cabe destacar que a amostra do Cyrela foi fixada em local relativamente protegido, o que pode ter limitado sua exposição plena aos poluentes.

**Tabela 01** – Resultados para o teor de enxofre nos talos de líquens utilizados para o presente estudo.

Amostra	Diluição	Concentração real de enxofre na amostra (mg/Kg)
<b>Grupo Controle</b>	<b>1:10</b>	<b>0,01</b>
A1 - Cyrela	1:10	0,10
A2 - Jd Eldorado	1:10	1,20
A3 – Pasto	1:10	0,70
A4 - Rua das Usinas	1:10	4,00
A5 – Chácara dos advogados	1:10	2,50
A6 - Tancredo Neves	1:10	0,50

O gráfico da figura 4 ilustra os dados da tabela 01 demonstrando a dimensão dos dados registrados nos pontos de estudo, especialmente a unidade amostral 04 (Rua das Usinas), quando comparados ao valor verificado no grupo controle.

**Figura 4** – Gráfico dos resultados para teor de enxofre verificados nos talos de líquens utilizados no estudo, incluindo o grupo controle. A1: Condomínio Cyrela; A2: Jardim Eldorado; A3: Pastagem; A4: Rua das Usinas; A5: Chácara dos advogados; A6: Residencial Tancredo Neves.

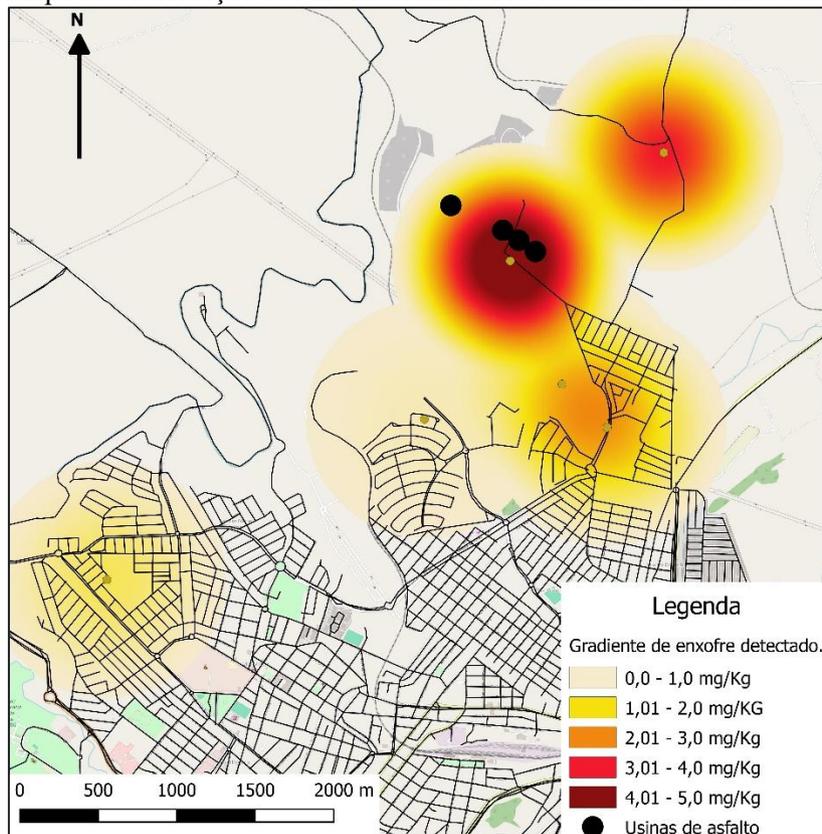


**Fonte:** Vigilância Ambiental em Saúde, 2025

Os dados evidenciam um gradiente de exposição crescente conforme a proximidade com os empreendimentos, o que pode ser verificado no mapa da figura 05. O mapa de distribuição dos níveis de enxofre da figura 03, evidencia a concentração elevada de dióxido de enxofre nas proximidades das usinas de asfalto localizadas ao norte da área urbana de Uberaba/MG, com valores variando entre 0,10 e 4,0 mg/kg, com

maior intensidade nas áreas próximas às fontes emissoras de poluentes.

**Figura 5** – Mapa da distribuição dos níveis acumulados de enxofre nas unidades amostrais.



Fonte: Vigilância Ambiental em Saúde, 2025

A área de maior intensidade da concentração de enxofre se expande pelo entorno, apresentando um decréscimo gradual das concentrações à medida que se afasta das fontes emissoras, atingindo níveis inferiores a 1,0 mg/kg nas regiões periféricas, especialmente no setor sudoeste das fontes emissoras. Observa-se que a dispersão se estende com maior força no sentido sudeste e, principalmente, no sentido nordeste, sugerindo influência de padrões locais de circulação atmosférica e possivelmente da topografia.

### 3.3 Avaliação de material particulado (MP10)

A série de medições de material particulado inalável (MP<sub>10</sub>) entre 30/07/2024 e 06/08/2024 mostra variações expressivas nas concentrações, conforme dados da tabela 02.

**Tabela 02** – Valores obtidos a partir das análises por períodos de 24 horas de amostragem. Local de verificação: Condomínio Cyrela. **Fonte:** UFTM, 2024.

Data	Parâmetro	Filtro	Resultado
			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
30/07/2024	MP10	44	106,53
31/07/2024	MP10	45	47,08
01/08/2024	MP10	46	38,71
03/08/2024	MP10	47	29,42
06/08/2024	MP10	48	51,41

A variação de dados apresentados na tabela anterior sugere a ocorrência de episódios pontuais de elevação da poluição, possivelmente associados a fontes locais de emissão, como as usinas de asfalto ou aumento no tráfego pesado, e condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes.

#### 4. Discussão

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam um cenário relevante de exposição ambiental na região norte de Uberaba, especialmente no entorno das usinas de asfalto. O acúmulo de enxofre detectado nos talos de *Parmotrema tinctorum*, com destaque para os 4,00 mg/kg registrados na Rua das Usinas, ultrapassa os valores verificados anteriormente no Distrito Industrial III, local conhecido por sua alta densidade de indústrias. Estudos anteriores conduzidos em Uberaba, como o de Raimundo Costa et al. (2019), utilizando amostras da mesma espécie de líquens adotada no presente estudo, expostas por igual período (30 dias), apresentaram resultados que indicaram que, durante a estação seca, considerada o período mais crítico do ano, foram registradas concentrações máximas de 1,3 mg/kg de enxofre no Distrito Industrial III, o que reforça a hipótese de que a região das usinas de asfalto, em especial a Rua das Usinas, apresenta níveis de poluição atmosférica significativos. A sobreposição espacial das áreas de maior concentração de dióxido de enxofre, verificada no mapa apresentado na figura 5, permite verificar zonas residenciais adjacentes às áreas estudadas e reforça a relevância de medidas de controle de emissões e monitoramento contínuo para mitigação dos riscos à saúde da população exposta nesses locais.

A presença de valores elevados mesmo em áreas residenciais, associada à constatação de emissões visíveis durante inspeções em campo, sugere que o funcionamento das usinas, principalmente aquelas que utilizam combustíveis mais poluentes, como o óleo AGX e o diesel S500, exerce impacto direto na qualidade do ar e, potencialmente, na saúde das populações vizinhas. A literatura destaca que combustíveis fósseis de baixo grau de refino são responsáveis por emissões mais intensas de enxofre e compostos orgânicos voláteis (Saldiva, 2008; WHO, 2024).

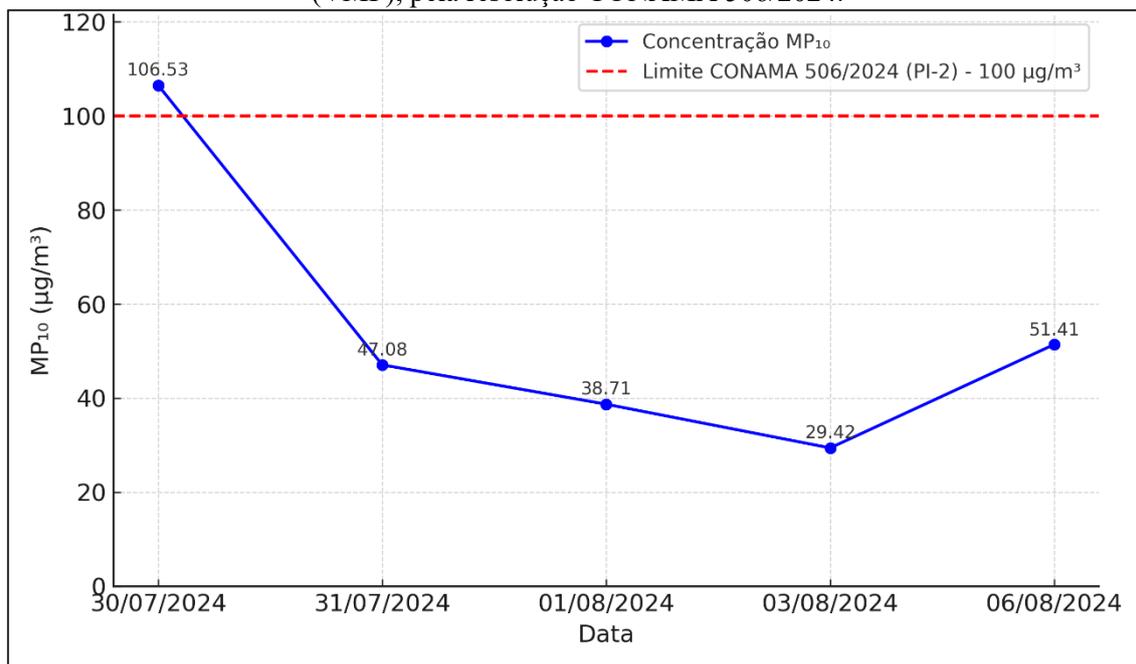
Referidas verificações reforçam a sensibilidade da técnica de biomonitoramento ativo com líquens para identificar focos de emissão de poluentes atmosféricos. Estudos prévios com líquens como bioindicadores de poluentes atmosféricos, como o de Koch et al. (2018), Braz et al. (2021), Vargas et al. (2023), já demonstraram a eficiência da técnica em contextos urbanos no sul do Brasil, especialmente em relação à deposição de enxofre e metais pesados.

Adicionalmente, os resultados obtidos com o monitoramento de MP10 apontam para a ocorrência de picos esporádicos, possivelmente associados a condições climáticas ou ao horário de operação das usinas, ou

ainda ao aumento de fluxo de veículos pesados em determinados horários, uma vez que na região trafegam muitos caminhões que transportam a massa asfáltica produzida nas usinas. Situação semelhante foi observada por Santos (2022), ao estudar a qualidade do ar em Fortaleza (CE), no ano de 2020, estabelecendo picos de MP10 pela manhã e ao final da tarde, sendo relacionados ao aumento do fluxo de veículos. Santos et al. (2021), verificaram picos de MP10 também relacionados a aumento de fluxo de veículos ao estudarem o comportamento das partículas inaláveis em área ocupada por atividade de mineração a céu aberto em Paracatu, MG.

Do ponto de vista normativo e de saúde pública, os picos esporádicos de PM10 observados merecem atenção. As Diretrizes Globais da OMS (2021) adotam  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (24 h) para PM10 como valor máximo permitido para segurança da população exposta, enfatizando que valores excedentes trazem risco adicional mesmo quando médias anuais são moderadas. Os dados verificados no presente estudo, com destaque para o valor registrado em 30/07/2024 ( $106,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), que, além de ter sido superior ao limite de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estabelecido pela Resolução CONAMA 506/2024, em vigor a partir de 01 de janeiro de 2025, conforme gráfico da figura 6, ultrapassa significativamente o limite diário recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Figura 6** – Gráfico da concentração de MP10, em comparação com o Valor Máximo Permitido (VMP), pela resolução CONAMA 506/2024.



Fonte: Vigilância Ambiental em Saúde, 2025

A variabilidade entre os dias reforça a necessidade de um acompanhamento contínuo e não apenas pontual, dado que exposições intermitentes, mesmo que breves, podem causar efeitos adversos cumulativos à saúde respiratória da população exposta a esses poluentes (Bakonyi et al., 2004; Martins et al., 2001). O pico de 30/07/2024 pode indicar um evento crítico de emissão ou acúmulo de poluentes na atmosfera, com potencial de risco agudo para grupos mais vulneráveis da população, como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias ou cardiovasculares.

Contudo, mesmo com essa limitação, os achados reforçam a viabilidade do uso de líquens como

ferramenta complementar aos métodos físico-químicos de monitoramento da qualidade do ar. A metodologia aplicada se mostra particularmente útil para municípios com baixa cobertura de redes automáticas e orçamento restrito, como é o caso de Uberaba. A articulação com instituições de ensino superior, como a UFTM, fortalece ainda mais a capacidade técnica das ações de vigilância ambiental.

Dessa forma, este estudo reforça a necessidade de uma abordagem integrada, envolvendo setores da saúde, meio ambiente e planejamento urbano, no enfrentamento à poluição atmosférica em áreas urbanas. Recomenda-se, por fim, que o poder público avalie a inclusão de critérios mais rígidos para o licenciamento e fiscalização de usinas de asfalto e fomenta estratégias de biomonitoramento como parte dos instrumentos de gestão ambiental municipal.

## 5. Conclusão

Os registros verificados deste estudo permitem concluir que existe real necessidade de se realizar monitoramento ambiental contínuo na região norte de Uberaba, especialmente no entorno das usinas de asfalto, onde foram identificados níveis de poluição atmosférica superiores aos já registrados em áreas industriais consolidadas do município. O acúmulo de enxofre em líquens expostos e os picos de concentração de MP10 registrados reforçam a hipótese de que a operação dessas usinas, associada ao uso de combustíveis altamente poluentes e ao intenso tráfego de veículos pesados, exerce influência direta sobre a qualidade do ar local. A sobreposição espacial entre áreas residenciais e zonas de maior emissão amplia a preocupação em termos de risco à saúde pública, sobretudo para populações mais vulneráveis.

Considerando os dados verificados é possível concluir também que a utilização de técnicas de biomonitoramento ativo com líquens mostrou-se uma ferramenta sensível e eficaz para identificar fontes de emissão e complementar métodos instrumentais de avaliação da qualidade do ar, corroborando a literatura científica sobre a aplicabilidade desse recurso em ambientes urbanos. Os resultados também revelam que, mesmo em eventos esporádicos, as concentrações de MP10 ultrapassaram tanto os valores estabelecidos pela legislação brasileira mais recente quanto os limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde, configurando um cenário de exposição preocupante.

Assim, torna-se imperativo o fortalecimento de estratégias locais de vigilância e regulação ambiental, com especial atenção ao controle de emissões atmosféricas e à fiscalização do uso de combustíveis menos poluentes pelas usinas de asfalto. Paralelamente, recomenda-se a manutenção de um sistema de monitoramento contínuo, capaz de subsidiar políticas públicas preventivas e de mitigação, assegurando a proteção da saúde da população exposta e promovendo maior sustentabilidade no desenvolvimento urbano-industrial da região.

## 6. Agradecimentos

Agradecimentos ao Departamento de Vigilância em Saúde do município de Uberaba, MG pelo suporte no desenvolvimento das atividades e, em especial, agradecimentos à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, pela parceria que viabilizou as análises realizadas no presente estudo, nas pessoas do Prof. Dr. Deusmaque Carneiro Ferreira e Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Paula Milla dos Santos Senhuk.

## 7. Referências

BRAZ, Sofia Negri; LONGO, Regina Márcia. Qualidade ambiental das cidades: uso de bioindicadores para avaliação da poluição atmosférica. *Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares*, v. 2, p. 1-21, 2021.

BAKONYI, S. M. C.; NASCIMENTO, L. F. C.; MORAES, J. C.; NICOLAU, C. M. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, v. 38, n. 5, p. 695–700, 2004.

BENATTI, M. N.; MARCELLI, M. P. Espécies de Parmotrema (Parmeliaceae, Ascomycota) do litoral centro-sul do Estado de São Paulo, Brasil. I. Grupos químicos girofórico e lecanórico. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 4, p. 1013-1026, 2009.

BRUNS, R. E. Estatística aplicada à química: dez dúvidas comuns. **Química Nova**, v. 34, n. 5, p. 847–855, 2011. Disponível em: SciELO Brasil. Acesso em: 31 jul. 2025.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 506/2024, 2024.

DE SOUZA, R. C.; DA SILVA, M. F.; DELLA JUSTINA, E. E. Escala de Ringelmann como método de avaliação da fumaça emitida pela frota de ônibus urbanos de Porto Velho-RO. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 59, p. 279-293, 2016.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. Estatística: Frota veicular 2018. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

DOS SANTOS<sup>1</sup>, FERNANDO OLIVEIRA. EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE AS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NA CIDADE DE CUBATÃO. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Metropolitana de Santos. **Pesquisa e ações em saúde pública**. Editora Pasteur. Ed. XVI. DOI 10.59290/978-65-6029-115-7.4.

ELIASARO S.; VEIGA, P. W.; DONHA, C. B.; NOGUEIRA, L. Inventário de macrolíquens epífitos sobre árvores utilizadas na arborização urbana em Curitiba, Paraná, Brasil: Subsídio para biomonitoramento urbano, **Biotemas**, v.22, n. 4, p. 1-8, 2009;

FLEIG, M. Os gêneros Parmotrema, Rimelia e Rimeliella (Lichenes – Ascomycotina, Parmeliaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. 1997. 250 f. Tese. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo do São Paulo, São Paulo, 1997.

GARTY, J. Lichens as biomonitors for heavy metal pollution. Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment, 1993, p. 193-257. Disponível em: <<https://www.sciepub.com/reference/42570>>, Acesso em: 20 jun. 2025.

KOCH, N. M.; LUCHETA, F.; KÄFFER, M. I.; MARTINS, S. M. A.; VARGAS, V. M. F. Air quality assessment in different urban areas from Rio Grande do Sul state, Brazil, using lichen transplants. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 2233–2248, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170987>

KEMERICH, P. D. da C.; VASCONCELLOS, N. J. S. de; MORTARI, S. R.; FLORES, É. E. de M. Biomonitoramento e variabilidade espacial do dióxido de enxofre em ar urbano. **Ambiente & Água – Taubaté**, v. 6, n. 3, p. 210–220, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92821301014.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025

- KOPPEN-GEIGER, 2017. Classificação climática de Koppen-Geiger. Disponível em <[https://portais.ufg.br/up/68/o/classifica\\_o\\_clim\\_tica\\_koppen.pdf](https://portais.ufg.br/up/68/o/classifica_o_clim_tica_koppen.pdf)>. Acesso em 12 abr 2024.
- MARCELLI, M. P. Fungos Liquenizados. In: XAVIER FILHO, L. et al. **Biologia de Líquens**. Rio de Janeiro, Brasil, 2006. cap. 1. p. 24-74.
- MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R. D. O.; SALDIVA, P.; BRAGA, A. L. F. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 4, p. 220-229, 2001.
- NIMIS, P. L.; CASTELLI, M.; PEROTTI, M. Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia (Northern Italy). **The Lichenologist**, v. 22, n. 03, p. 333-344, 1990.
- RAIMUNDO COSTA, W., MINEO, M. F.; Os líquens como bioindicadores de poluição atmosférica no município de Uberaba, Minas Gerais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 13, n. 13, p. 2690- 2700, 2013.
- RAIMUNDO-COSTA, W., FERREIRA, D. C., ANHÊ, A. C. B. M., & SENHUK, A. P. M. D. S. (2021). The use of *Parmotrema tinctorum* (Parmeliaceae) as a bioindicator of air pollution. **Rodriguésia**, 72, e01872019, DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860202172060>
- RIBEIRO, A. K. C.; GALVÃO, E. S.; ALBUQUERQUE, T. T. A. Air quality characterization and trend analysis in a Brazilian industrialized metropolitan area in the period from 1995 to 2022. **Atmosphere**, v. 14, n. 12, p. 1792, 2023.
- SALDIVA, P. Air pollution and our lung disease patients. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 34, n. 1, p. 1–10, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/zcbTn3vnnY6ZjD4fQzz9tyC/?lang=en>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- SZABO, A. V.; DOMINGOS, M.; RINALDI, M. C. S.; DELITTI, W. B. C. Acúmulo foliar de enxofre e suas relações com alterações no crescimento de plantas jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn.(Melastomataceae) expostas nas proximidades do polo industrial de Cubatão, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 3, p. 379-390, 2003.
- UBERABA. Portal da prefeitura municipal de Uberaba. Empresas: negócios da cidade. Disponível em: <<http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,1030>>. Acesso em: 23 set. 2018.
- WHO. World of Health Organization. Ambient (outdoor) air quality and health, 2016. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em: 18 set. 2024.
- VARGAS, Luana Búrigo; WOLFF, Raquel Holtrup; SOARES, Juliana Ferreira. Uso de líquens como bioindicadores no monitoramento ambiental: uma revisão. **Revista Latinoamericana Ambiente e Saúde**, v. 5, n. 3 (especial), p. 308-321, 2023.
- SANTOS, Rafael Pereira dos. Qualidade do ar e risco à saúde durante o ano atípico de 2020 (Fortaleza, CE). 2022.

DOS SANTOS, Arthur Pereira; DE PAULA SANTIL, Fernando Luiz; CARBONE, Samara. Avaliação do comportamento das partículas inaláveis em área ocupada por atividade de mineração a céu aberto: um estudo de caso em Paracatu–MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 31777-31797, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ambient (outdoor) air quality and health. Geneva, 2024. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acesso em: 30 jul. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, 2021.