

## MONITORAMENTO PASSIVO DE POLUIÇÃO DO AR - VALIDAÇÃO

ALDO MURO JR<sup>1</sup>, NAYARA DO PRADO VALADÃO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dr. Prof. Titular, IFG, Goiânia-GO; *Visiting Professor, Università di Pisa, Pisa-IT*, aldo.muro@ifg.edu.br;

<sup>2</sup>Graduanda em engenharia ambiental e sanitária, IFG, Goiânia - GO, nayarapradov@gmail.com;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** Sistemas de monitoramento passivo da qualidade do ar atmosférico são importantes ferramentas para o controle das emissões atmosféricas. O presente trabalho teve como objetivo validar, por comparação, um sistema de monitoramento passivo de baixo custo, que constitui na adsorção de poluentes atmosféricos por papel filtro em bastidores de bordado. A utilização do método empregado para monitorar poluentes orgânicos em grande cidade situada no Brasil, serviu para demonstrar a presença de compostos orgânicos compatíveis com as emissões decorrentes das atividades industriais existentes na região, permitindo a utilização do sistema de monitoramento passivo, denominado SISCO, em cidades e países que não efetuam o monitoramento da qualidade do ar por falta de recursos e em locais que não dispõem de energia, devido ao seu baixo custo, facilidade de uso, independência de fonte energética e a eficácia validada por este trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluição do ar, monitoramento passivo, PAH, compostos voláteis.

### ***PASSIVE AIR POLLUTION MONITORING SYSTEM - VALIDATION***

**ABSTRACT:** *Passive air quality monitoring systems are essential tools for controlling atmospheric emissions. This work aimed to validate, by comparison, a low-cost passive monitoring system, which constitutes the adsorption of atmospheric pollutants by filter paper in embroidery hoardings on streetlights. The results obtained when compared to systems established in the literature. The method used to monitoring organic pollutants in large cities located in Brazil served to demonstrate the presence of organic compounds compatible with the emissions resulting from industrial activities in the region, allowing the use of the passive monitoring system, called SISCO, in cities and countries that do not monitor air quality due to lack of resources and in places that do not have energy, due to its low cost, ease of use, independence of energy source and the effectiveness validated by this work.*

**KEYWORDS:** *Air pollution, passive monitoring system, PAH, volatile compounds*

### **INTRODUÇÃO**

A qualidade do ar relaciona-se diretamente à intensidade das emissões de poluentes atmosféricos e a um complexo conjunto de fatores, tais como a topografia e as condições meteorológicas, que podem promover a dispersão, o transporte e a concentração dos poluentes atmosféricos.

Estudos epidemiológicos e clínicos têm demonstrado a incidência de alto risco de desenvolvimento de doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer em seres humanos expostos a poluentes atmosféricos, tais como ozônio, material particulado, hidrocarbonetos aromáticos (GODOI *et al.*, 2010; VALAVANIDIS *et al.*, 2013) mesmo àqueles em concentrações inferiores aos padrões de qualidade do ar normatizados.

A degradação da qualidade do ar também pode gerar efeitos adversos sobre a fauna, a flora, solo e materiais presentes no meio ambiente artificial patrimonial, cultural e histórico, além de alterar as propriedades físicas da atmosfera, promovendo prejuízos à economia.

O monitoramento do ar atmosférico é a única forma de verificar e garantir se os padrões estabelecidos nas normas vigentes em um país estão sendo respeitados, podendo ser realizado de maneira ativa, quando o ar atmosférico é aspirado mediante utilização de fonte de energia para a alimentação do equipamento; ou na forma passiva, quando o sistema utilizado no monitoramento independe de fontes energéticas (MURO, 2014).

Diante da necessidade de monitoramento dos poluentes atmosféricos, a amostragem passiva tem se mostrado uma alternativa interessante para a realização do monitoramento do ar atmosférico. Os amostradores passivos apresentam uma instalação simples sem a necessidade de utilização de mão de obra especializada; e sobretudo, apresenta custo reduzido em comparação a amostradores ativos convencionais.

Os sistemas de monitoramento passivo da qualidade do ar exigem pouca ou nenhuma manutenção, não dependem de calibração de fluxos de ar, são de fácil operação, não apresentam necessidade de energia elétrica, são geralmente pequenos e leves. Todos estes fatores contribuem para a viabilidade de sua utilização para coleta de amostras simultâneas em grandes áreas de interesse e em locais onde não há abastecimento elétrico (CAMPOS *et al.*, 2010; GOUIN *et al.*, 2008).

Embora a amostragem passiva para monitoramento da poluição atmosférica seja relevante, há escassez de publicações relacionadas a este assunto.

Esse trabalho teve como objetivo a validação de um sistema de monitoramento passivo de poluição do ar através da análise de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH), que foram desenvolvidos e utilizados por Brait, Antoniosi e Muro (BRAIT; ANTONIOSI FILHO, 2010; MURO JÚNIOR, 2013), que consiste na adsorção de ar atmosférico por intermédio de um papel filtro, fixados em postes de energia elétrica, especialmente destinados ao monitoramento da qualidade do ar em países em desenvolvimento que não possuem recursos para serem destinados ao monitoramento da qualidade do ar ambiental.

Para a validação, utilizou-se o método simples de cotejo com um sistema de monitoramento passivo do ar atmosférico, já consagrado na literatura, desenvolvido por Tuduri, Harner e Hung (TUDURI; HARNER; HUNG, 2006).

Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade na utilização do sistema de monitoramento passivo desenvolvido por Brait, Antoniosi e Muro, pois foram capazes de detectar PAHs em amostras fixadas em grande cidade brasileira, situada próxima à Brasília, capital do Brasil, região sinérgica a todas as regiões brasileira, dada a sua posição na região Centro-Oeste do país.

## MATERIAL E MÉTODOS

O local escolhido para a instalação dos amostradores foi na cidade de Goiânia, metrópole situada na Região Centro-Oeste do Brasil, próxima à capital do País, com influência sinérgica na difusão da poluição atmosférica, devido sua localização.

Os amostradores SISCO e PUFs foram instalados nas coordenadas S16°39'58,88556" W49°19'55,87212", durante dois períodos de quinze dias cada, durante o período de estiagem na Região (Figuras 1 e 2).



**Figuras 1 e 2.** Sistema de monitoramento passivo - SISCO

Os SISCOS foram montados utilizando-se bastidores para bordado, comumente encontrados no mercado de aviamentos, confeccionados em madeira, com diâmetros de 20 cm, onde foi fixado um papel filtro, para adsorção dos particulados atmosféricos, conforme utilizado por Muro (MURO, 2013).

Os bastidores foram lavados com água e detergente, enxaguados com água corrente e, em seguida, lavados com água destilada e deionizada e borrifados com acetona grau Absolv Tedia, sendo por fim dispostos para secagem.

A fixação dos elementos adsorventes ocorreu em ambiente limpo, mediante a simples aposição do elemento de papel filtro de 24 cm de diâmetro, nos bastidores concêntricos e de madeira e ambos bastidores com seus respectivos filtros foram acondicionados em sacos individuais de polietileno e permaneceram lacrados até o momento da instalação.

Para a validação por cotejo do sistema de monitoramento passivo SISCO, os amostradores foram fixados simultaneamente PUF e SISCO, para comparar o sistema desenvolvido por Tuduri, Harner, Hung (2006) e Muro (2013).

Testou-se a utilização do papel filtro para adsorção de particulados atmosféricos em substituição à espuma de poliuretano, dentro das abóbadas propostas por Tuduri, Harner, Hung (2006), para validação de um sistema composto pela proteção garantida pelas abóbadas e a adsorção do papel filtro que é mais fácil de ser encontrado no mercado e barato do que a espuma de poliuretano, além de ser mais fácil o preparo para a análise cromatográfica.

Após o período de coleta de particulados por adsorção, foram retiradas amostras de 2,5cm x 2,5cm da espuma e do papel filtro, acondicionadas em *vials* de vidro foram pesados e levados para análise por meio de Cromatografia Gasosa.

Para a identificação dos compostos, as análises da amostra e de um padrão de acetonitrila foram realizadas em cromatógrafo a gás Agilent 7890B acoplado ao espectrômetro de massas triplo quadrupolo 7000D, equipado com coluna NST 624ms (30m x 250µm, 1.4 µm).

A programação da temperatura do forno foi inicialmente a 40 °C por 1 minuto, com rampa de aquecimento a 5°C/min até 100°C e 10 °C/min até 200°C. Empregou-se injetor no modo split com razão de split de 100:1.

A temperatura do Injetor, da interface e da fonte de íons foi mantida a 250°C. A amostra e o padrão de acetonitrila foram previamente aquecidos via *headspace* à 150°C por 30 minutos e um volume de 2,5 mL foi injetado no cromatógrafo. O espectrômetro de massas operou em modo *Scan* registrando íons na faixa de 17 a 500 m/z.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a validação dos sistemas de monitoramento passivo, foram utilizados os PAHs que apresentaram maiores quantidades relativas nas amostras analisadas.

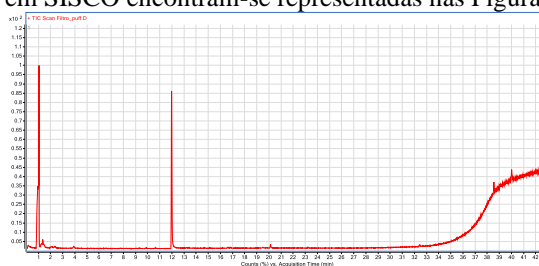
Os PAHs que apresentaram quantitativos ínfimos não foram utilizados para a comparação entre os sistemas de monitoramento passivo, para que não houvesse risco de que os traços de substâncias alterassem a análise comparativa para validação dos sistemas.

Os compostos que apresentaram maiores quantitativos relativos nas amostras estão listados na Tabela 1, foram os compostos: Hexanal (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O), Furfural (C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>), 5-Metil-Furancarboxaldeído (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>), Octanal (C<sub>8</sub>H<sub>16</sub>O), 2-Formyl Pyrrole (C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>NO); Pirimidina (C<sub>5</sub>H<sub>6</sub>N<sub>2</sub>), Furfural (C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>), Nonanal (C<sub>9</sub>H<sub>18</sub>O) e 1-2 Benzeno ácido dicarboxílico (C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>H<sub>3</sub>O<sub>4</sub>).

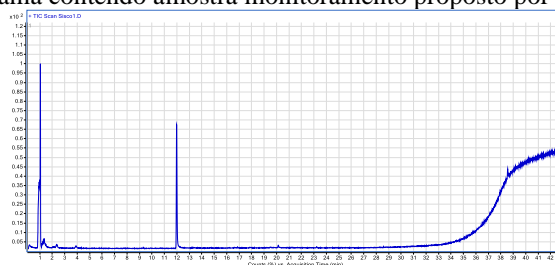
**Tabela 1.** PAHs detectados nas amostras por monitoramento passivo

PAHs	PUF	SISCO 1	PAPEL	SISCO 2
Hexanal	2,65	0,57	0,57	0,26
Furfural	83,7	83,66	74,3	88,37
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	0,69	0,71	0,35	0,66
Octanal	0,3	0,28	0,22	0,35
2-Formyl Pyrrole	0,49	0,53	0,48	0,36
Nonanal	1,87	1,83	1,77	1,64
Decanal	3,2	2,9	3,1	2,9
etil-butil-ftalato	4,95	4,92	5,02	5,1

Os cromatogramas representativos das amostras selecionadas para a comparação entre os métodos de monitoramento por sistema passivo, contendo a análise do sistema PUF, proposto por Tuduri, Harner, Hung (2006) e do sistema por adsorção em SISCO encontram-se representadas nas Figuras 3 e 4.



**Figura 3.** Cromatograma contendo amostra monitoramento proposto por Tuduri, Harner, Hung (2006)

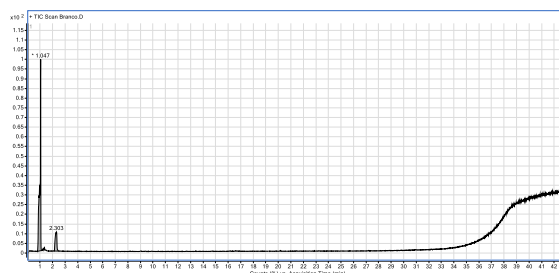


**Figura 4.** Cromatograma contendo amostra SISCO

Analisando-se os dados contidos na Tabela 1, depreende-se que os PAHs detectados pelo sistema de monitoramento passivo já consolidado pela literatura, proposto por Tuduri, Harner, Hung (2006) – PUF e àquele proposto por Antoniosi, Brait (2010) e Muro (2013) – SISCO, equivalem-se em termos qualitativos e quantitativos.

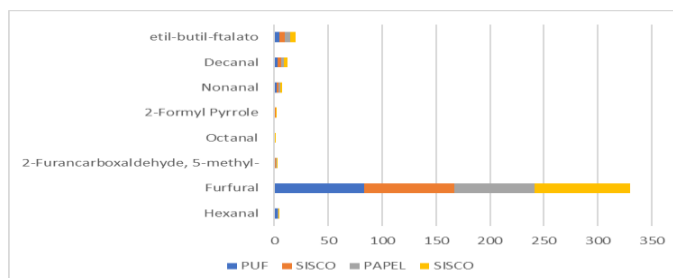
Da mesma forma, os picos representativos dos PAHs, na ordem e intensidade que eluíram durante a cromatografia, corroboram as similitudes de ambos os métodos de monitoramento passivo, Figuras 3 e 4.

Os picos iniciais existentes nos cromatogramas são equivalentes com o que foi observado da análise do “branco”, representando a ausência de contaminação das amostras durante todo o processo e estão representados na Figura 5.



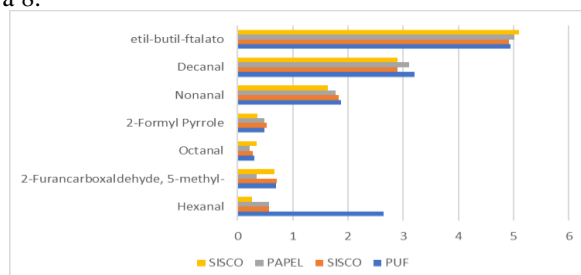
**Figura 5.** Cromatograma representativo da análise do “branco”

Para a melhor comparação entre as quantidades obtidas nos sistemas de monitoramento passivo com espuma de poliuretano – PUF e adsorção com papel – SISCO, representa-se uma curva em barras dos resultados contidos na Tabela 1.

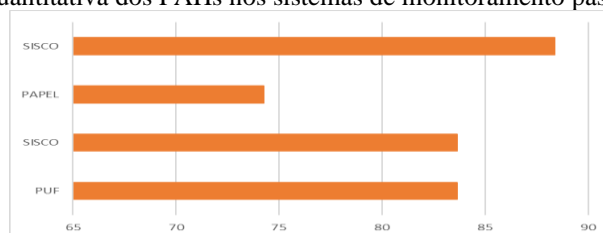


**Figura 6.** Comparação quantitativa dos PAHs nos sistemas de monitoramento passivo

Como a quantidade relativa de Furfural presente nas amostras é muito maior do que as quantidades dos demais PAHs, representam-se as quantidades por meio de dois gráficos de barras auxiliares: sem o Furfural, Figura 7; e somente o Furfural representado relativamente nas amostras pelos sistemas de monitoramento passivo PUF e SISCO, Figura 8.



**Figura 7.** Comparação quantitativa dos PAHs nos sistemas de monitoramento passivo, sem o PAH Furfural



**Figura 8.** Comparação quantitativa do PAH Furfural. nos sistemas de monitoramento passivo

Analisando-se as Figuras 6, 7 e 8, depreendeu-se que mesmo havendo variações entre os quantitativos dos PAHs obtidos nas amostras, eles se equivaleram. As variações podem ter ocorrido em virtude das diferentes emissões ocorridas durante a coleta das amostras ou pela variação de posição que, mesmo sendo mínima, pode interferir nos resultados de elementos-traço adsorvidos do ar atmosférico.

A Figura 7 representa a similaridade de quantitativos de PAHs adsorvidos em ambos os sistemas de monitoramento passivo, tanto pelo método consagrado de monitoramento por espuma de poliuretano – PUF, quando pela adsorção de papel filtro – SISCO, denotando que o método de monitoramento SISCO constitui uma metodologia eficaz e de baixo custo, para o monitoramento da poluição atmosférica.

Quanto aos PAHs encontrados em Goiânia: Hexanal ( $C_6H_{12}O$ ), Furfural ( $C_5H_4O_2$ ), 5-Metil-Furancarboxaldeído ( $C_6H_6O_2$ ), Octanal ( $C_8H_{16}O$ ), 2-FormilPyrrole ( $C_5H_5NO$ ); Pirimidina ( $C_4H_6N_2$ ), Furfural ( $C_5H_4O_2$ ), Nonanal ( $C_9H_{18}O$ ) e 1-2 Benzeno ácido dicarboxílico ( $C_2O_4H_3O_4$ ), vale tecer alguns comentários,

devido ao alto grau patológico à biota e aos seres humanos que eles provocam, todos monitorados pelo sistema de monitoramento passivo do ar atmosférico.

O Hexanal é um alquil aldeído encontrado em biofluidos humanos, borracha sintética e *pallets* de madeira e serragem, é o principal produto de degradação do ácido linoleico, é insolúvel em água e apresenta um odor comparado ao odor de aldeído e grama verde (CHO *et al.*, 2017; PUBCHEM, 2019; SUI *et al.*, 2019), está relacionado ao desenvolvimento de doenças como Uremia, Colite Ulcerosa, Doença Celíaca, Doença Hepática Gordurosa não Alcoólica, Doença de Crohn. Sua presença no ar atmosférico de Goiânia, provavelmente se deve à forte presença da indústria alimentícia na capital, pois é uma substância comumente utilizada para auferir o sabor artificial das frutas em alimentos industrializados.

O Furfural também advém da indústria alimentícia, através do uso do bagaço de cana-de-açúcar destinado à produção de energia e de farelo de cereais (SILVA *et al.*, 2015). O composto 5-Metil-Furancarboxaldeído é da família dos furanos, presente na atmosfera provavelmente pela produção do café (ARRUDA *et al.*, 2012). O Octanal é um aldeído graxo saturado, comumente encontrado em formulações de pesticidas e inseticidas aplicados a animais além de produtos de limpeza para residências, produtos de cuidados pessoais como shampoo, maquiagem e perfumes (PUBCHEM, 2019b). Pode causar tonturas e irritações nas mucosas ao ser inalado, irritação na boca e estômago ao ser ingerido e nos olhos ou pele quando houver contato dérmico (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, 2019).

O 2-FormilPyrrole advém do tabaco, portanto, oriundo da fumaça dos cigarros presentes em todo o mundo. A Pirimidina e o 1-2 Benzeno ácido dicarboxílico são compostos semelhantes ao Benzeno, casando efeitos deletérios à saúde equivalente aos compostos benzênicos. Suas presenças no ar atmosférico decorrem sobretudo das emissões por fontes móveis e pulverizações agrícolas, ambas abundantes na região objeto do estudo. O nonanal é um aldeído normalmente encontrado em plantas oleaginosas e em grandes concentrações pode causar câncer, irritação de pele e olhos

## CONCLUSÃO

O sistema de monitoramento passivo por adsorção em filtro de papel, SISCO -, é um sistema de baixo custo, grande versatilidade por ser capaz de ser utilizado sem a necessidade de fontes de energia.

Demonstrou ser eficaz quando comparado com outro método de monitoramento passivo consagrado na literatura, proposto por Tuduri, Harner, Hung (2006), que consiste no monitoramento passivo por adsorção de particulados em espuma de poliuretano dentre duas abóbodas para proteção da água das chuvas e vento.

A utilização do papel filtro utilizado no sistema de monitoramento passivo – SISCO -, demonstrou-se eficaz quando utilizado dentro das abóbodas de proteção propostas por Tuduri, Harner, Hung (2006), no local da espuma de poliuretano, sendo capaz de qualificar e quantificar os poluentes atmosféricos com a mesma acurácia, contudo, com redução incremental de custos.

O método de monitoramento passivo SISCO, foi capaz de detectar poluentes orgânicos – PAHs, no ar atmosférico de Goiânia, detectando compostos advindos do sistema produtivo predominante na Região: indústria alimentícia e agropecuária, bem como das fumaças oriundas de cigarros e de fontes móveis, comuns em todas as grandes cidades.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nelson Roberto Antoniosi (LAMES/UFG); e ao Dr. Julião Pereira (LAMES/UFG), pela consecução das cromatografias.

## REFERÊNCIAS

- BRAIT, C. H. H.; ANTONIOSI FILHO, N. R. Desenvolvimento e aplicação de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de Cd, Cr, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn e particulados totais. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 7–13, 2010.
- CAMPOS, V. P.; CRUZ, L. P. S.; GODOI, R. H. M.; TAVARES, T. M. Development and validation of passive samplers for atmospheric monitoring of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S in tropical areas. **Microchemical Journal**, v. 96, n. 1, p. 132–138, set. 2010.
- GODOI, A. F. L.; GODOI, R. H. M.; AZEVEDO, R.; MARANHO, L. T. Poluição e a densidade de vegetação: BTEX em algumas áreas públicas de Curitiba - PR, Brasil. **Química Nova**, v. 33, n. 4, p. 827–833, 2010.
- GOUIN, T.; WANIA, F.; RUEPERT, C.; CASTILHO, L. E. Field Testing Passive Air Samplers for Current Use Pesticides in a Tropical Environment. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 17, p. 6625–6630, set. 2008.
- MURO JÚNIOR, A. POLÍTICA, SISTEMAS NORMATIVOS E INSTRUMENTOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR: ASPECTOS LEGAIS. **Revista SJRJ**, Rio de Janeiro, v.21, n.41, p.19-49, dezembro 2014.
- PUBCHEM. **Furfural**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7362>>. Acesso em: 15 nov. 2019a.
- SILVA, J. F. L.; SELICANI, M. A.; JUNQUEIR T. L.; KLEIN B. C.; BONOMI, A. **INTEGRAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FURFURAL EM UMA BIORREFINARIA DE CANA-DE-AÇÚCAR**. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica - Cobeq IC 2015. **Anais...** In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Campinas, Brasil: Editora Edgard Blücher, jun. 2015 Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/20021>>. Acesso em: 19 nov. 2019
- TUDURI, L.; HARNER, T.; HUNG, H. Polyurethane foam (PUF) disks passive air samplers: Wind effect on sampling rates. **Environmental Pollution**, v. 144, n. 2, p. 377–383, nov. 2006.
- U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, N. O. A. A. A. **N-OCTILALDEÍDO**. Disponível em: <<https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/4108>>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- VALAVANIDIS, A.; VLAOCHGIANNI, T.; FIOTAKIS, K.; LORIDAS, S. Pulmonary Oxidative Stress, Inflammation and Cancer: Respirable Particulate Matter, Fibrous Dusts and Ozone as Major Causes of Lung