

2

CAPÍTULO

DESENVOLVIMENTO DE SENSORES ATIVOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE GASES POLUENTES DO AR ATMOSFÉRICO NA CIDADE DE CATALÃO-GO

Nara Line da Silva Sousa¹

Francielle Campos Lima¹

Rafaela Souza Santos¹

Mariana de Fátima Serafim²

Stephane Cristina Naves de Matos²

Ivana Cristina Goulart Bueno²

Leonardo Santos Andrade¹

Lincoln Lucílio Romualdo¹

1 Unidade Acadêmica Especial de Física e Química, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, Brasil.

2 Colégio Estadual Anice Cecílio Pedreiro, Catalão, Brasil.

Agradecimentos: Universidade Federal de Goiás/Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Física e Química (UFG-RC), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Programa Petrobrás – Meninas e Jovens Fazendo Ciências Exatas, Engenharia e Computação.

Resumo: A poluição é um grande problema ambiental que preocupa autoridades há algum tempo. As principais fontes de poluentes na atmosfera são a queima de combustíveis, emissões industriais, agricultura etc. Diante disso, *vê-se necessário o monitoramento do ar na cidade de Catalão-GO*, com o objetivo de avaliar a presença de poluentes gasosos, como dióxido de enxofre (SO_2) e amônia (NH_3), partindo de uma metodologia de amostragem alternativa. A presença de SO_2 no ar é evidenciada pela mudança de cor da matriz em virtude de um processo de oxirredução. A presença de NH_3 é identificada utilizando-se o princípio de troca de um ligante lábil (aquoso) em compostos de coordenação, fazendo com que a matriz contendo o complexo mude de coloração. Para análise das matrizes contendo SO_2 , utilizou-se a técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva, obtendo a composição elementar das amostras, enquanto que, para NH_3 , utilizou-se a *técnica de espectroscopia na região do ultravioleta visível*, pelo deslocamento batocrômico das bandas de absorção do complexo. A obtenção do sensor alternativo para compostos de enxofre foi alcançada. Em relação ao sensor de gás amônia, ao contrário, nada pode ser afirmado, pois não ocorreu a identificação do gás nas matrizes amostradas.

Palavras-chave: Qualidade do ar. Poluentes gasosos. Sensores. Amostradores ativos.

Abstract: Pollution is a major environmental problem that worries authorities for some time. The major sources of pollutants in the atmosphere are the burning of fuels, industrial emissions, agriculture, etc. Thus it is seen necessary air monitoring in the city of Catalão-GO, in order to assess the presence of gaseous pollutants such as sulfur dioxide (SO_2) and ammonia (NH_3), starting from an alternative sampling methodology. The presence of SO_2 in air is shown by color change of the matrix due to a redox process. The presence of NH_3 is identified using the principle of a labile exchange ligand (aqueous) in coordination compounds, causing the switch matrix containing the complex staining. For the analysis of matrices containing SO_2 it was used the technique of X-ray fluorescence spectrometry by dispersive energy obtaining the elemental composition of the samples, while for NH_3 it was used spectroscopy in the visible ultraviolet region, by the bathochromic shift of the bands absorption. The alternate sensor for obtaining sulfur compounds was achieved. Contrary to this, nothing can be stated with respect to ammonia gas sensor, since the identification has not occurred in the gas sampled matrices.

Keywords: Air quality. Gaseous pollutants. Sensors. Active samplers.

1 INTRODUÇÃO

As elevadas e crescentes taxas de urbanização, observadas principalmente nas duas últimas décadas, contribuíram de forma assustadora para o aumento da degradação dos recursos naturais, afetando de maneira negativa a qualidade de vida da população. A ausência ou carência de planejamento provocou sérios problemas ambientais, como a poluição do ar e das águas, as enchentes, erosões e deslizamentos, que trazem consequências ao dia a dia da população (BELLO, 1998).

Sendo assim, programas de monitoramento e controle da poluição do ar têm surgido em todo o mundo. A Organização Mundial da Saúde (OMS), em seu Guia da Qualidade do Ar (WHO, 2005), determina padrões de qualidade do ar para material particulado, ozônio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, bem como descreve os possíveis agravos à saúde causados por tais poluentes. Esse guia é utilizado por países do mundo todo na elaboração de suas legislações.

No Brasil, o órgão que regulamenta os padrões de qualidade do ar é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pela Resolução 03/1990, que dispõe sobre padrões primários e secundários de concentrações de alguns poluentes do ar.

Conforme a Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/1990, considera-se

poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tomem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e a flora ou prejudicial a segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade. (CONAMA, 1990, p. 15.937)

Os padrões de qualidade do ar descritos nessa resolução são mostrados na Tabela 1, a seguir.

Esses poluentes têm ganhado atenção principalmente por seus potenciais riscos à saúde humana. Uma das evidências perceptíveis mais comuns da poluição atmosférica é a ocorrência do mau odor (BUNDY, 1992).

As principais fontes antropogênicas de lançamento desses poluentes na atmosfera são a queima de combustíveis, o uso de solventes, a combustão em fontes móveis e estacionárias, emissões fugitivas e descargas em processos industriais, refino de óleo, aterro de resíduos, agricultura, entre outros (SOUSA, 2002).

Tabela 1. Padrões nacionais de qualidade do ar

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas ⁽¹⁾	240	150
	MGA ⁽²⁾	80	60
Dióxido de enxofre (SO ₂)	24 horas	365	100
	MAA	80	40
Monóxido de carbono (CO)	1 hora ⁽¹⁾	40000	40000
		35 ppm	35 ppm
	8 horas	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Ozônio (O ₃)	1 hora ⁽¹⁾	160	160
Fumaça	24 horas ⁽¹⁾	150	100
	MAA ⁽³⁾	60	40
Partículas inaláveis (MP ₁₀)	24 horas ⁽¹⁾	150	150
	MAA ⁽³⁾	50	50
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	1 hora ⁽¹⁾	320	190
	MAA ⁽³⁾	100	100

⁽¹⁾ Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

⁽²⁾ Média geométrica anual.

⁽³⁾ Média aritmética anual.

Fonte: CONAMA (1990).

1.1 Poluentes derivados de enxofre

Existem diversos compostos de enxofre, em estados de oxidação que variam de -2 a +6, compondo a atmosfera. Os principais compostos voláteis na forma reduzida do enxofre são: dióxido de enxofre (SO₂), sulfeto de hidrogênio (H₂S), sulfeto de carbonila (COS), dissulfeto de carbono (CS₂) e sulfeto de metila (CH₃SH), dentre outros conhecidos por compostos reduzidos de enxofre (CRE). Nas últimas décadas, a demanda referente à determinação de compostos de enxofre no ambiente tem sido crescente devido à preocupação com a qualidade ambiental (PITTS; PITTS JR, 2000).

Um dos principais poluentes atmosféricos derivados de enxofre é o dióxido de enxofre (SO_2), que pode ser introduzido no ambiente em grandes quantidades e por diferentes fontes, dentre as quais se destacam a queima de combustíveis fósseis, fontes industriais como fundição de minérios não ferrosos, além de outros processos, tais como produção de ácido sulfúrico e de papel (CULLIS; HIRSCHLER, 1980).

Logo, o dióxido de enxofre é um gás irritante, fortemente hidrofílico, muito solúvel na mucosa nasal e no trato respiratório superior. Os principais efeitos sobre a saúde, associados com a exposição a altas concentrações deste gás, incluem doenças respiratórias, alterações nas defesas pulmonares causando bronquite e enfisema, e o agravamento de doenças cardiovasculares. Algumas plantas são muito sensíveis ao SO_2 , tendo suas folhas amareladas, ou mesmo morrendo, quando expostas a concentrações mais baixas que as que afetam a saúde humana (WHO, 1979).

1.2 Poluentes derivados de nitrogênio

O gás nitrogênio é o principal componente em proporção do ar atmosférico. Além dele, várias outras espécies químicas que pertencem ao ciclo do nitrogênio são encontradas na forma de gás na atmosfera, sendo consideradas as principais os óxidos de nitrogênio e a amônia. Atividades humanas, principalmente as relacionadas com indústrias e agricultura, têm aumentado o aporte de compostos de nitrogênio para a biosfera criando distúrbios no ciclo natural do nitrogênio (LOGAN, 1983; SINGH, 1987).

O dióxido de nitrogênio é um gás castanho-avermelhado, de cheiro forte e irritante, muito tóxico, formado por nitrogênio e oxigênio. É um sério agente poluidor em áreas urbanas, reagindo com resíduos provenientes da combustão parcial da gasolina e formando nitratos que irritam aos olhos e os pulmões e que são nocivos às plantas (CETESB, 2006).

A principal fonte de nitrogênio do ambiente é proveniente da espécie amônia, que é um gás incolor à temperatura ambiente e com odor muito forte. O produto da combustão de amônia é, na maioria das vezes, nitrogênio, água, nitrato de amônio e dióxido de nitrogênio, sendo que este último, quando gerado, acaba se tornando um agravante à qualidade do meio ambiente (CASTRO et al., 2011).

1.3 Amostragem

Um dos principais problemas relacionados ao monitoramento da qualidade do ar está relacionado à amostragem de seus componentes. Além de serem encontrados em quantidades traços – em parte, por causa dos processos de dispersão e

diluição que esses poluentes estão sujeitos no meio –, o sistema tem características heterogênea e multifásica, constituída de gases, material líquido e particulado, os quais são dispostos no meio de forma variável espacialmente e temporalmente, o que dificulta qualquer amostragem representativa (CAMEL; CAUDE, 1995).

A exigência por técnicas confiáveis e sensíveis para o monitoramento de componentes atmosféricos tem proporcionado o surgimento de várias técnicas de amostragem. Um sistema ideal de amostragem de ar deve apresentar um procedimento de amostragem simples, que possa ser expansível e utilizável em locais remotos. Deve ser o mais representativo possível da matriz, compatível com o tamanho da amostra obtida e com a sensibilidade do método analítico. Não pode permitir a ocorrência de quaisquer que sejam as perdas e/ou degradação da amostra durante o período de amostragem ou durante o tempo entre a amostragem e a análise. A escolha inadequada dos métodos pode levar à obtenção de falsos positivos, causando perda na confiabilidade da utilização do seu método (CAMEL; CAUDE, 1995; NAMIESNIK, 1988).

Dentre os métodos de amostragem utilizados para compostos atmosféricos, temos tradicionalmente e de forma mais difundida a aplicação de técnicas de amostragens passiva e ativa. A amostragem passiva envolve dispositivos capazes de capturar amostras a uma taxa controlada por processos físicos, não envolvendo o movimento ativo de ar pelos amostradores (BROWN et al., 1984). Na amostragem ativa, o ar é succionado para dentro do dispositivo de amostragem com o auxílio de uma bomba. Essa técnica tem a necessidade de determinação de alguns parâmetros referentes ao funcionamento da bomba, tais como fluxo e volume de ar succionado, objetivando a melhor descrição, reprodutibilidade e confiabilidade do método.

1.4 Sensores

Nos últimos anos, muitos pesquisadores têm investigado o desenvolvimento de equipamentos e aplicações dos vários tipos de sensores e têm produzido sensores de todos os tipos, semelhantes aos órgãos dos sentidos como visão, audição e tato. Os pesquisadores estudam uma forma de melhorar e ajustar o sensor para que ele não perca a sensibilidade quando for exposto por muito tempo a algumas substâncias (RIUL JR, 2003; SHEVADE et al., 2003; KISH et al., 2000).

O desenvolvimento desses sensores tem ganhado destaque em vários âmbitos da ciência, principalmente na química. A capacidade de determinar quase que instantaneamente a presença, e muitas vezes a quantidade, de uma infinidade de substâncias é a principal característica desses materiais.

Um sensor é geralmente definido como um dispositivo que recebe e responde a um estímulo ou um sinal e é capaz de detectar variações físicas e/ou químicas de um sistema (ROSA et al., 2005; PETTY, 2007).

Os sensores químicos possuem características peculiares que os distinguem de métodos instrumentais de grande porte. Em geral, são mais sensíveis e seletivos, mas, por vezes, não permitem a obtenção de informações *in situ* e em tempo real.

Algumas características vantajosas inerentes ao uso de sensores podem ser relacionadas à portabilidade, facilidade de automação, possibilidade de miniaturização e baixo custo operacional e aquisitivo.

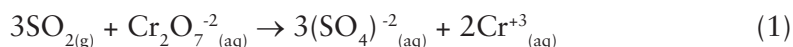
2 OBJETIVO

Avaliar a presença dos poluentes gasosos da atmosfera, como dióxido de enxofre (SO₂) e amônia (NH₃), partindo de uma metodologia de amostragem ativa acoplada a um sensor químico constituído por materiais alternativos.

3 METODOLOGIA

Foi desenvolvida uma metodologia de amostragem dos gases SO₂ e NH₃ atmosféricos por meio de sensores alternativos, objetivando a determinação desses poluentes em áreas urbanas com influência industrial e fazendo um comparativo com supostas áreas de menor impacto ambiental, como a zona rural. O sensor foi desenvolvido com base em conceitos básicos de química e de amostragem ativa. Foram utilizados materiais de baixo custo e de fácil aquisição.

A detecção de SO₂ pelo sensor utiliza a propriedade redutora desse gás, que, ao entrar em contato com uma solução de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), provoca a redução do íon Cr⁺⁶ para Cr⁺³, enquanto o enxofre passa do estado de oxidação +4 para +6, conforme a reação a seguir:



A captação de NH₃ foi realizada pelo borbulhamento do ar atmosférico em uma solução contendo o complexo *cis-bis*-(oxalato) diaquacromato (III) de potássio diidratado K[Cr(ox)₂(OH₂)₂].2H₂O. A presença do gás no ar atmosférico será identificada pela técnica de espectroscopia de absorção na região do ultravioleta visível. O princípio envolvido na manutenção do gás está relacionado com a substituição do grupo aquo (H₂O) por outro grupo ligante – no caso, o grupo ligante NH₃. Essa caracterização baseia-se na observação das bandas de transições *d-d* do íon (Cr⁺³), com uma separação caracterizada pela força do parâmetro de desdobramento do campo ligante (SHIVER; ATIKINS, 2008).

A diferença muitas vezes observada nos espectros de complexos de um mesmo metal é proveniente dos diferentes ligantes presentes, que, por vezes, possuem diferentes labilidades. A labilidade ou inércia é a capacidade de troca ou perma-

nência, respectivamente, de um ligante no complexo. Essas variáveis são dadas de acordo com a tendência apresentada na série espectroquímica ($I^- < Br^- < Cl^- < SCN^- < F^- < OH^- < ox^{2-} < ONO^- < H_2O < SCN^- < EDTA^+ < NH_3 \sim py < en < NO_2^- < CN^- \sim CO \sim PR_3$), a qual apresenta uma menor influência, em relação à troca, dos ligantes $I^- \ll PR_3$. No caso específico do trabalho, a possível captura do NH_3 pelo complexo de cromo $K[Cr(ox)_2(H_2O)] \cdot 2H_2O$ é dada por meio da troca entre os ligantes devido à maior influência do desdobramento do campo cristalino do ligante NH_3 em relação ao ligante aquo.

A troca dos ligantes esperada para o composto de coordenação é representada pela equação geral:



A construção do sensor baseou-se na montagem de um *kit* composto com compressor de ar portátil e seringas contendo as matrizes esponjosas (esponjas compostas de poliuretano) umedecidas com agente oxidante dicromato de potássio e complexo de cromo, conforme a Figura 1.

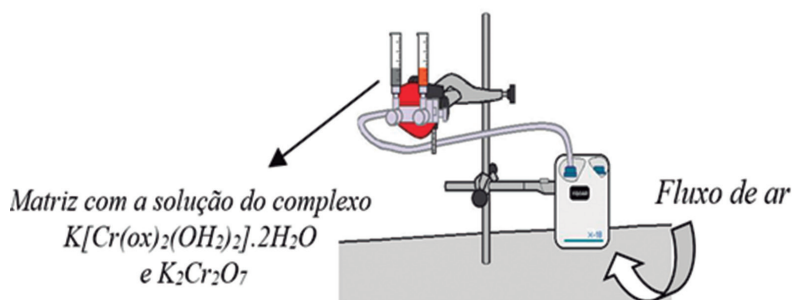


Figura 1. Esquema do kit montado com materiais alternativos.

A presença de dióxido de enxofre no ar que passa pela matriz é evidenciada pela mudança de cor do alaranjado para azul negro devido à redução do cromo presente na forma de $K_2Cr_2O_7$, enquanto a presença de amônia, em virtude da troca do ligante aquo do composto de coordenação, faz com que a matriz adquira um aspecto esverdeado.

Os sensores foram testados em laboratório e, após a comprovação da sua eficiência, os *kits* foram utilizados para amostragem em campo, conforme a Tabela 2. Recomenda-se que as amostragens sejam realizadas no mesmo horário durante todos os dias, uma forma de avaliar a variação da presença do agente oxidante ao longo dos dias, criando uma rotina. Amostragens livres (AL) também foram recomendadas, ao passo que, em qualquer hora do dia em que o mau cheiro fosse

percebido, seria interessante realizar o monitoramento, visto que há uma suspeita da relação entre a presença de enxofre e amônia e o mau cheiro.

Tabela 2. Informações gerais para o experimento em campo

Relatório de Campo					
Data	Início	Término	Ocorrência de chuvas	Percepção de mau odor	Obs.
	17 h	19 h			
	17 h	19 h			
	17 h	19 h			
	17 h	19 h			
	17 h	19 h			AL

Além da comprovação visual da presença de SO_2 , foram realizadas análises das matrizes embebidas em $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ antes e depois de se passar o fluxo desse gás. A técnica utilizada foi a espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva, que dá a composição elementar de cada amostra e possibilita ainda uma análise semiquantitativa. O equipamento utilizado foi um EDX-7000 (Shimadzu), localizado nas dependências da UFG/RC. A comprovação da presença de NH_3 foi verificada por experimentos em espectroscopia no ultravioleta visível (Varian, Cary 50 Conc), em que, por meio da interpretação dos espectros, pôde-se perceber a presença ou ausência do ligante no complexo por meio do deslocamento das bandas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostragens em campo para a determinação de SO_2 são apresentadas nos gráficos das Figuras 2, 3 e 4, onde se tem o comparativo entre a análise antes e depois e de diferentes regiões amostradas, zona rural e urbana, respectivamente. Dessa forma, é possível a melhor visualização entre as diferenças percentuais dos elementos amostrados, bem como a influência do local de amostragem.

Um número menor de amostragens foi obtido na região urbana em virtude de eventualidades que ocorreram ao longo do trabalho, no entanto as poucas amostragens realizadas já foram úteis para propor uma explicação e tendência quando comparadas às amostragens realizadas na zona rural. Por esse fato, os gráficos para os resultados da zona rural foram divididos em dois e por datas, onde o primeiro (Figura 2) coincide com as mesmas datas do gráfico plotado (Figura 4) para a zona urbana, de modo a permitir a comparação destes.

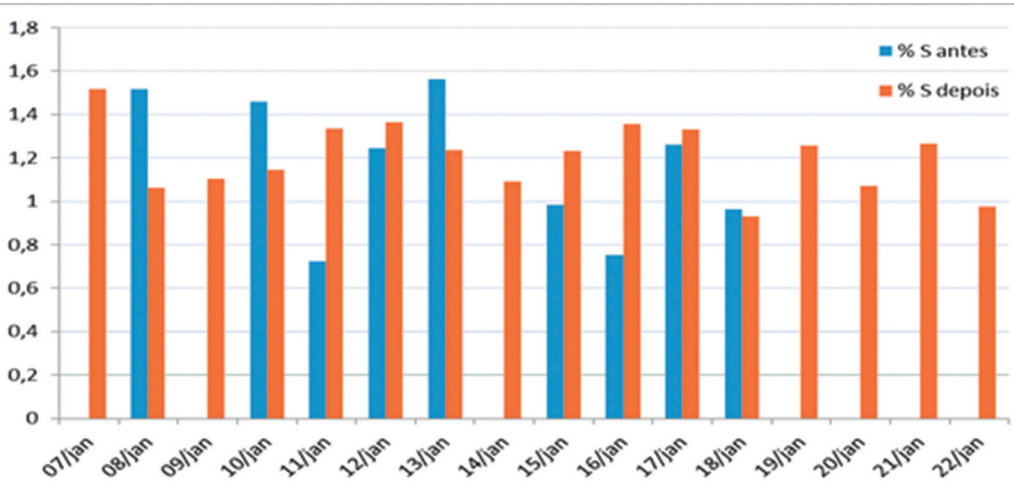


Figura 2. Quantidade de enxofre após a amostragem (janeiro de 2015), em zona rural, da matriz com dicromato de potássio.

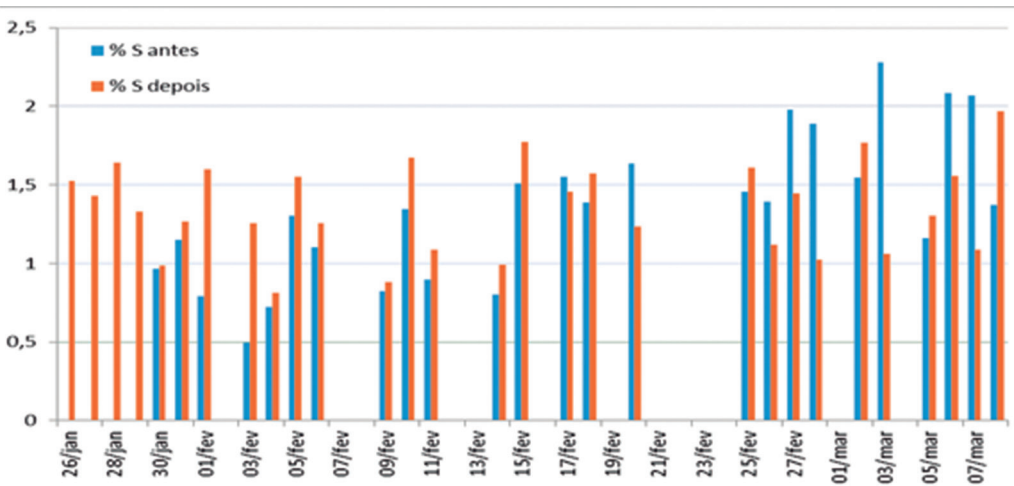


Figura 3. Quantidade de enxofre após as amostragens (janeiro a março de 2015), em zona rural, da matriz com dicromato de potássio.

Com base nos resultados, é notória a diferença percentual entre os níveis de S antes e depois da amostragem em ambas as regiões. No entanto, o que se percebe é um maior percentual de enxofre absorvido pelas amostras da região urbana (Figura 4), o que já era esperado em virtude da maior presença de poluentes oriundos do intenso tráfego de veículos, atividade industriais e mineradoras presentes nesta região.

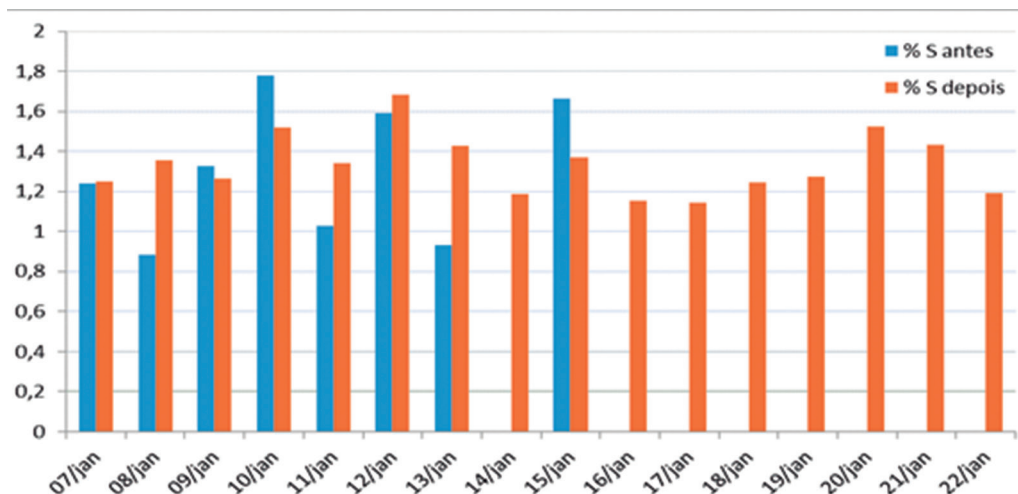


Figura 4. Quantidade de enxofre após a amostragem (janeiro de 2015), em zona urbana, da matriz com dicromato de potássio.

A tendência observada para a segunda parte das amostragens na zona rural (Figura 3) é um crescente percentual de enxofre absorvido, no entanto, em menor quantidade quando comparado às amostras antes da passagem do fluxo de ar, o que de certa forma é esperado, em virtude da melhor qualidade do ar no campo.

Em relação à presença de outros elementos, tais com Cr, Ca, K, Fe, Ti, Sr, Si, Cu, presentes em parte nas caracterizações por EDX, podem ser relacionados ao material particulado presente na atmosfera, que, por meio da sucção do compressor de ar portátil, ficaram incrustadas na matriz no momento após a amostragem. Esse material particulado é oriundo do próprio ar, ressuspensão dos solos e emissões veiculares, que, por meio dos ventos e/ou mesmo pressão do compressor de ar portátil de sucção, são absorvidos pelos sensores. A presença de enxofre na amostra pela qual não foi passado o fluxo de SO_2 pode ser atribuída a possíveis impurezas do reagente $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ utilizado para fazer a solução, ou mesmo da composição da matriz utilizada. Porém, a maior quantidade identificada na amostra em que se passou o fluxo de SO_2 fornece a comprovação da eficiência do sistema.

Os resultados referentes à captura de amônia são apresentados na Figura 5, onde se tem a sobreposição das bandas para todas as amostras analisadas, objetivando uma melhor observação da presença ou ausência do deslocamento das bandas, em virtude da captura ou não de amônia.

Como já elucidado, essa separação entre as bandas de transições $d-d$ é influenciada através do desdobramento do campo ligante, sendo diretamente alterado de acordo com o ligante coordenado ao metal, uma vez que cada um exerce uma influência diferente no desdobramento do campo, isso em virtude até mesmo da tendência, já apresentada, da série espectroscópica.

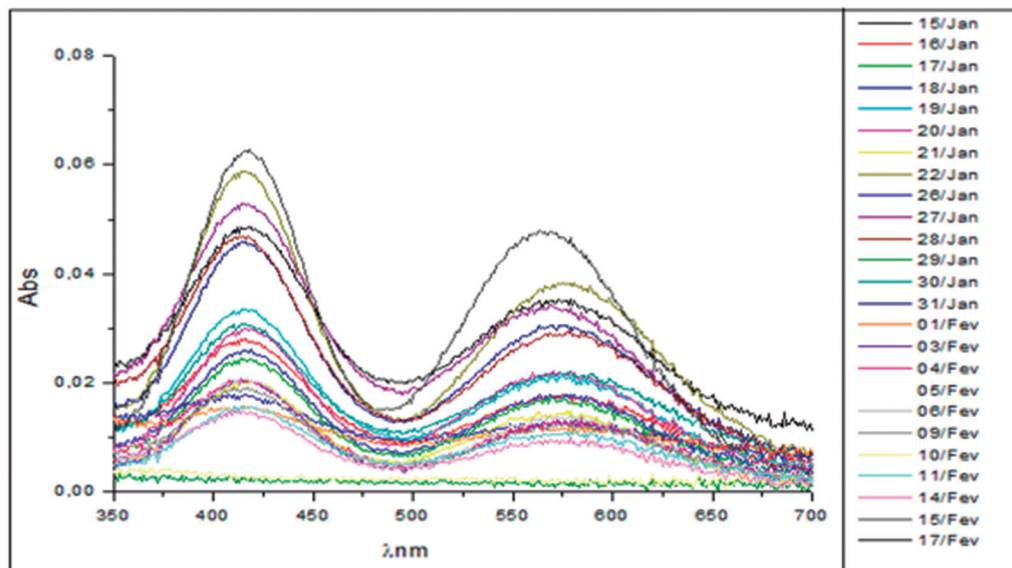


Figura 5. Resultados das absorções na região do ultravioleta visível, um comparativo do padrão vs. esponjas amostradas.

Nos resultados da caracterização realizada (Figura 5), percebe-se que não houve variação no deslocamento das bandas, apenas nas intensidades, o que pode ser explicado pela diferença de concentração das soluções. A tendência observada no espectro infere duas possíveis discussões, dentre elas a não captura de amônia pelo composto de coordenação em questão, ou os baixos níveis de concentração de amônia dispersos no meio, dificultando a captura por meio do compressor de ar portátil, uma vez que se esperava a mudança dessa tendência em relação ao padrão, em prol da troca dos ligantes do complexo pelo poluente gasoso.

Dentre os possíveis interferentes do resultado, a não detecção ou a ausência de tal poluente pode estar associada com as condições meteorológicas, como, por exemplo, as chuvas, que fazem com que o poluente não seja capturado em razão da dispersão e/ou interação deste com água. Em relação a velocidade e direção dos ventos, estes podem fazer com que o gás seja disperso para longe do amostrador, contribuindo para a sua não detecção e indicando um falso negativo. As demais interferências, tais como as condições geográficas, tendo em vista o local escolhido para a realização das amostragens, também podem ser um fator primordial no resultado e detecção do poluente, uma vez que a escolha do local de amostragem deve levar em consideração a maior representatividade do todo.

5 CONCLUSÃO

Foi possível indicar a presença ou ausência dos poluentes gasosos SO_2 e NH_3 na atmosfera por meio de uma metodologia de amostragem ativa acoplada a um sensor

constituído por material alternativo, fundamentado em princípios de química básica. Além da consolidação de uma nova metodologia, os resultados permitiram observar que, em áreas urbanas, obtém-se uma maior absorção do gás SO₂ pela influência industrial e pelo maior fluxo de veículos em comparação com a área rural.

REFERÊNCIAS

- BELLO, C. V. V. ZERI – Uma proposta para o desenvolvimento sustentável com enfoque na qualidade ambiental voltada ao setor industrial. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1998. 116 p.
- BROWN, R. H. et al. A diffusive sampler evaluation protocol. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 45, p. 67, 1984.
- BUNDY, D. S. Odor issues with wastes. In: **National livestock poultry and aquaculture waste management**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 1992.
- CAMEL, V.; CAUDE, M. Trace enrichment methods for the determination of organic pollutants in ambient air. **Journal Chromatography A**, v. 3-19, p. 710, 1995.
- CASTRO, J. R. M. et al. Determinação de amônia no ar utilizando piezelétrico de quartzo. **Revista Eclética Química**, v. 36, n. 2, 2011.
- CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Secretaria do Meio Ambiente (SMA). **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2005**. São Paulo: CETESB, 2006.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 ago. 1990. p. 15.937-15.939.
- CULLIS, C. F.; HIRSCHLER, M. M. Atmospheric sulphur: Natural and man-made sources. **Atmospheric Environment**, v. 14, p. 1263-1278, 1980.
- KISH, L. B.; VAJTAI, R.; GRANQVIST, C. G. Extracting information from noise spectra of chemical sensors: single sensor electronic noses and tongues. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 71, p. 55-59, 2000.
- LOGAN, J. A. Nitrogen oxides in the troposphere global and regional budgets. **Journal of Geophysical Research**, v. 88, p. 10785-10807, 1983.
- NAMIESNIK, J. Preconcentration of gaseous organic pollutants in the atmosphere. **Talanta**, v. 35, p. 567-587, 1988.
- PETTY, M. C. **Molecular electronics: from principles to practice**. Chichester: John Wiley & Sons, LTD, 2007.
- PITTS, B. J. F.; PITTS JR., J. N. **Chemistry of the upper and lower atmosphere – theory, experiments and applications**. San Diego: Academic Press, 2000.
- RIUL JR., A. A. Ciência Imitando o Corpo Humano. **Physica E**, n. 3, p. 39-46, 2003.
- ROSA, R. M. et al. Conducting polymer-based chemiresistive sensor for organic vapours. **Macromolecular Symposia**, v. 229, p.138-142, 2005.

SHEVADE, A. V. et al. Molecular modeling of polymer composite-analyte interactions in electronic nose sensors. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 93, p. 84-91, 2003.

SHRIVER, D. F; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SINGH, H. B. Reactive nitrogen in the troposphere. **Environmental Science Technology**, v. 21, p. 320, 1987.

SOUSA, K. R. P. **Estudo sobre compostos orgânicos voláteis presentes no ar do município de Paulínia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 193 p.

WHO. World Health Organization. **Air Quality Guidelines**. 1979.

_____. **Air Quality Guidelines**. 2005.