

# AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO NO ENTORNO DE UMA DE USINA TERMELÉTRICA EM MANAUS-AM

M. P. COSTA<sup>1</sup>, I. M. H. VALOIS<sup>1</sup>, É. SARGENTINI JÚNIOR<sup>2</sup>, E. F. CARTAXO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Núcleo Interdisciplinar de Energia, Meio Ambiente e Água (NIEMA).

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Departamento de Química Ambiental.

E-mail para contato: marcia\_passos@ymail.com

**RESUMO** – A queima de combustíveis fósseis utilizados para produção e uso de energia elétrica causa o lançamento de inúmeros poluentes na atmosfera. Dentre os poluentes nocivos ao meio ambiente e a saúde da população cita-se o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) por ser liberado em qualquer espécie de combustão, seja qual for o tipo de combustível utilizado, mas há uma maior probabilidade de ser formado durante a combustão do gás natural devido à alta temperatura. O estado do Amazonas faz parte do sistema isolado de energia, constituído de 80% de usinas termelétricas. Neste trabalho, foi realizado o estudo dos níveis da concentração de NO<sub>2</sub> no entorno de uma dessas usinas. O objetivo do presente trabalho foi o de monitorar a concentração de NO<sub>2</sub> proveniente da queima de combustíveis fósseis, utilizando método passivo. O resultado encontrado da média dos níveis da concentração de NO<sub>2</sub> foi de  $219,76 \pm 8,43 \mu\text{g m}^{-3}$ . Os dados da concentração de NO<sub>2</sub> apresentaram um comportamento heterogêneo para cada estação do ano, indicando dispersão entre esses. O uso dos amostradores passivos na determinação da concentração de dióxido de carbono mostrou-se eficiente para a obtenção de resultados confiáveis.

## 1. INTRODUÇÃO

As crescentes inovações tecnológicas intensificaram a produção industrial, altamente dependente das fontes primárias de energia fóssil, o que ocasionou um nível de poluição do ar capaz de comprometer os mecanismos regulatórios da atmosfera. Em geral, a maior contribuição da carga de poluentes nas grandes metrópoles está associada ao setor de transportes e eletricidade que assumem importantes aportes nestas regiões (COSTA e CARTAXO, 2012; VALOIS *et al.*, 2011). A região norte se insere neste cenário, com a maior concentração de termelétricas do país, geradora de impactos ambientais desastrosos, que conduzem a elevados custos financeiros e energéticos insustentáveis (ANDRADE, 2004).

A má qualidade do ar tem causado sérios problemas à saúde da população, ao meio ambiente e aos materiais (SALLES e PIUZANA, 2006). A análise da qualidade do ar é complexa, pois consistem em um emaranhado acervo de reações químicas, fatores climáticos e

ações antropogênicas. Um poluente antrópico que se destaca é o dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ). A reação de formação deste óxido é viabilizada em condições de elevadas temperaturas. Este é liberado em todas as combustões, principalmente nas descargas de automóveis e nas chaminés de termelétricas (BAIRD, 2002). Na combustão de combustíveis fósseis, a maioria dos poluentes é formada a partir da composição do combustível, porém quando se trata de  $\text{NO}_2$  não é necessário que esse esteja presente para ser formado. (COSTA *et al.*, 2012; VALOIS *et al.*, 2011; BAIRD, 2002). O  $\text{NO}_2$  tem um tempo de resistência curto, de apenas um (1) dia, o que significa que sua atuação em uma determinada região dependerá da velocidade do vento que o deslocará por quilômetros nessas 24 horas (BAIRD, 2002). Este tipo de poluente pode ser detectado usando-se o método de amostragem principalmente por apresentar baixo custo e simplicidade operacional (CAMPOS, *et al.*, 2006). Apesar deste método não fazer parte dos métodos de referência estabelecidos pela Resolução do CONAMA 003/90 que trata dos padrões da qualidade do ar este é amplamente utilizado por promover limites aceitáveis.

No Amazonas, não há rede de monitoramento da qualidade do ar, a frota veicular aumenta exponencialmente e, além disso, o setor elétrico é constituído de 80 % de termelétricas. Estes fatos motivaram a realização deste trabalho, que teve com objetivo o de analisar a concentração de  $\text{NO}_2$  em área urbana utilizando método passivo.

## 2. METODOLOGIA

O desenho amostral foi distribuído de maneira estratégica dentro e no entorno de uma usina termelétrica (pontos 1-4), coordenadas  $3^{\circ}06'28.4''\text{S}$  e  $59^{\circ}56'20.7''\text{W}$ ; Adrianópolis (ponto 5),  $3^{\circ}06'28.4''\text{S}$  e  $59^{\circ}56'20.7''\text{W}$ ; e na Ponta Negra (ponto 6),  $3^{\circ}02'36.5''\text{S}$  e  $60^{\circ}04'28.7''\text{W}$ . Em cada ponto foi instalado a 3 metros de altura do solo um suporte com oito amostradores. Três destes usados como brancos permaneceram lacrados durante a amostragem. O amostrador passivo adotado está descrito por Campos *et al.*, (2006). O período de amostragem foi de 30 dias. A extração é feita em condições ácidas dos filtros absorvedores de  $\text{NO}_2$  a partir da solução de Griess-Saltzman modificada por espectrofotômetro molecular de UV-Vis. A curva de calibração foi preparada para cada análise utilizando-se a solução padrão de nitrito de sódio. Calculou-se a concentração do  $\text{NO}_2$  empregando-se a primeira integração da Lei de Fick (PALMES e LINDENBOOM, 1979). Os parâmetros climatológicos usados foram obtidos por uma estação meteorológica instalada no local de estudo.

## 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os níveis médios da concentração de dióxido de nitrogênio obtidos em 6 pontos durante a realização desse estudo, no período de maio a outubro de 2012, estão demonstrados na Figura 1.

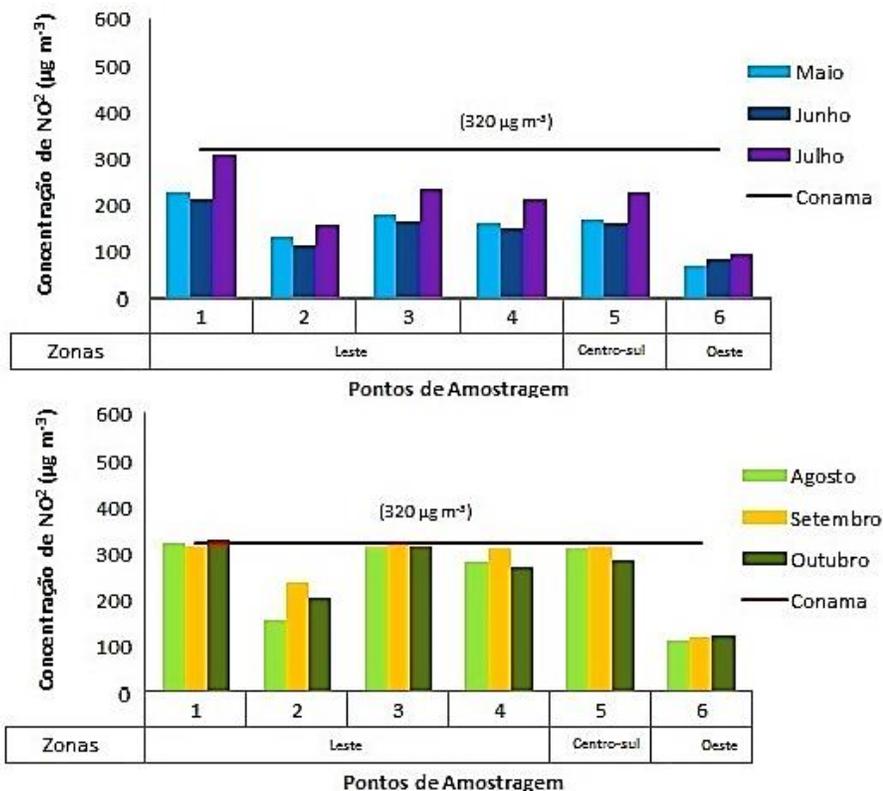


Figura 1. Variações de NO<sub>2</sub> e comparação com o padrão CONAMA 003/90

Os pontos 1 e 2, no Distrito Industrial, abrangem os maiores níveis da concentração de NO<sub>2</sub>, de 219,76 µg m<sup>-3</sup>. O ponto 6 mostrou os menores níveis, com 99,42 µg m<sup>-3</sup>. Já os pontos 3-4 e ponto 5 compreendem os níveis intermediários da concentração de NO<sub>2</sub>, de 168,96 µg m<sup>-3</sup>. O ponto (6) apresentou baixos índices de NO<sub>2</sub> provavelmente por ser uma área com baixa influência de queima de combustíveis fósseis veiculares e energéticas. O ponto 5 devido a sua localização ser em área de tráfego de veículos, possibilitou a comparação entre uma fonte fixa e as fontes móveis de emissão. E pode-se notar que o nível da concentração de NO<sub>2</sub>, na área de intenso tráfego veicular, é equiparativo com os níveis encontrados na região com usinas termelétricas. Os níveis médios da concentração de NO<sub>2</sub>, no período de maio a outubro de 2012, foram de 177,64 µg m<sup>-3</sup> para o limite de detecção do método de 7,59 µg m<sup>-3</sup>. A média dos brancos foi de 13,27 µg m<sup>-3</sup>. Os índices de NO<sub>2</sub> foram comparados com o padrão do CONAMA 003/90 (320 µg m<sup>-3</sup>), conforme é mostrado na Figura 1. Estes índices estão em conformidade com os padrões da qualidade do ar.

Segundo Marinho (2007), os níveis da concentração de NO<sub>2</sub> sofrem a influência das características do local de amostragem e das estações do ano. Por esse motivo, optou-se por utilizar a análise exploratória multivariada para analisar a similaridade entre os dados meteorológicos e as concentrações de NO<sub>2</sub>. A análise exploratória multivariada foi feita correlacionando os dados dos níveis de NO<sub>2</sub> dos pontos de amostragem com os dados de

temperatura, velocidade do vento, direção do vento, pluviosidade e umidade, conforme é mostrado na Figura 2.

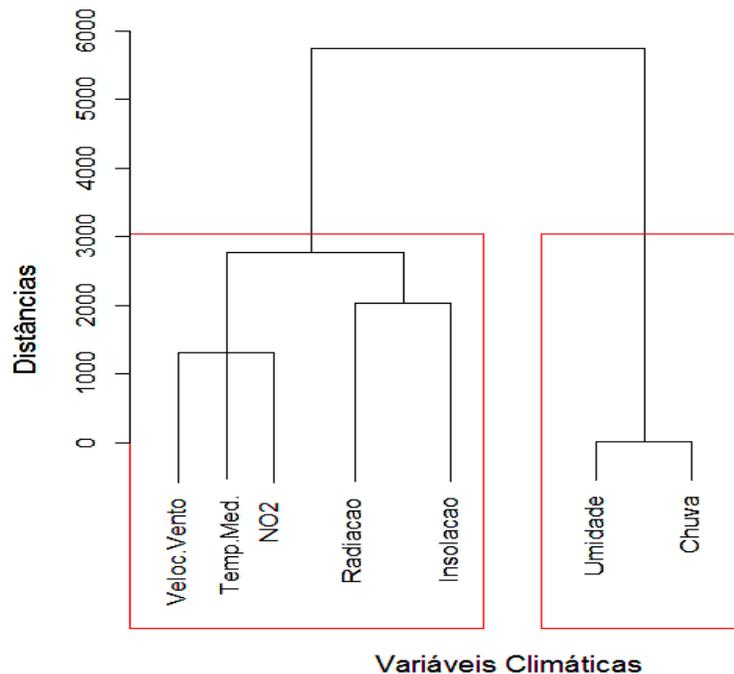


Figura 2. Dendrograma obtido a partir das concentrações de NO<sub>2</sub> agrupadas com dados meteorológicas.

Os resultados foram a formação de dois grupos: um diretamente proporcional com relação ao NO<sub>2</sub>, com temperatura e velocidade dos ventos, e outro inversamente proporcional com a umidade e com a pluviosidade. Analisando-se o índice pluviométrico mensal e a concentração de NO<sub>2</sub> na estação chuvosa e na seca, pode-se verificar que a concentração de NO<sub>2</sub> tende a diminuir à medida que aumenta a quantidade de chuvas, provavelmente devido à ocorrência da dissolução do NO<sub>2</sub> pela água da chuva. Em relação a umidade, percebe-se que apresenta comportamento inversamente proporcional ao nível de NO<sub>2</sub>. No caso da temperatura ocorre o inverso. De acordo com Campos et al., (2006), a umidade não interfere no coeficiente de difusão para o NO<sub>2</sub>. No entanto, a diminuição do nível de NO<sub>2</sub> em altas umidades pode estar relacionada à quantidade de chuvas, já que o período mais úmido foi também o mais chuvoso.

No estudo de emissões dos poluentes lançados por usinas termelétricas, é essencial a compreensão da direção e velocidade do vento. Pode-se, desta maneira, entender o comportamento de dispersão deste no local monitorado. A velocidade e a direção do vento nos meses de maio a outubro mostrou pouca variação. A direção predominante do vento na área de estudo foi no sentido sudeste (44 %) e leste (19 %). Quanto à velocidade do vento a média foi de  $1,75 \pm 0,25 \text{ m s}^{-1}$ . No entorno da usina termelétrica, notou-se a dispersão dos níveis de NO<sub>2</sub>.

Observou-se que houve influência da direção do vento. No sentido da maior predominância dos ventos, 44 % sudeste e 19 % leste, notou-se neste sentido proporcionalidade da evolução da concentração de  $\text{NO}_2$ . No entanto, no estudo da dispersão de gases poluentes na atmosfera, há muitas incertezas e variáveis que devem ser consideradas, tornando a pesquisa cercada de incógnitas.

No Distrito Industrial há quatro usinas que queima diferentes tipos de combustíveis. Um delas foi o alvo principal deste estudo. Buscou-se investigar qual o a relação entre a produção de energia com as emissões, e também o tipo de combustível teve maior contribuição. A Figura 3 mostra os níveis de  $\text{NO}_2$  correlacionados com a geração de energia na UTE estudada.

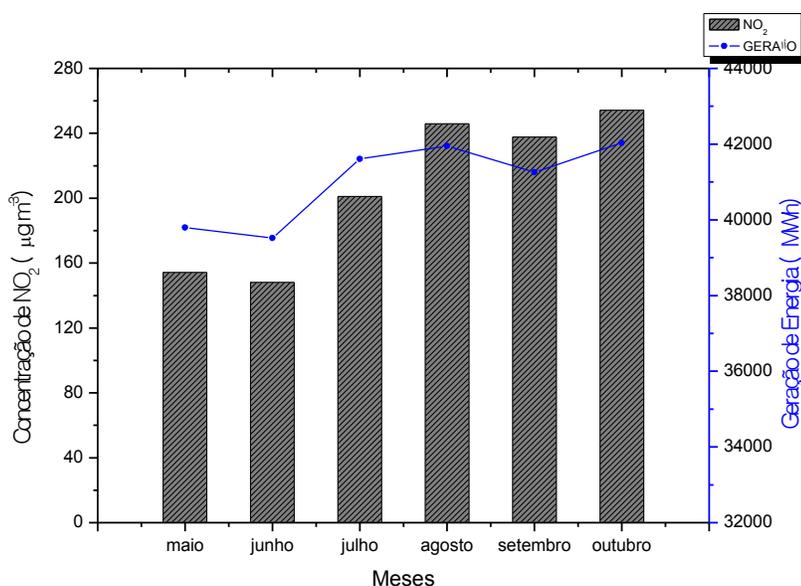


Figura 3. Correlação da quantidade e tipo de combustível queimado na usina termelétrica com o  $\text{NO}_2$ .

Pode-se notar que nos meses que correspondem a “estação seca” (agosto a outubro) com temperaturas mais elevadas houve maior geração de energia na usina termelétrica de estudo. Consequentemente, os níveis de  $\text{NO}_2$  foram os mais elevados, conforme demonstrado na Figura 3. Analisando-a, percebe-se que o aumento na geração de energia apresenta correlação com os níveis de  $\text{NO}_2$  nos locais de estudo.

Com relação ao tipo de combustível usado na usina termelétrica da área de estudo, observou-se que a queima é proveniente do óleo combustível tipo A1 (OCA1), óleo diesel e do gás natural. A Figura 4 mostra a relação da concentração de dióxido de nitrogênio com o tipo combustível.

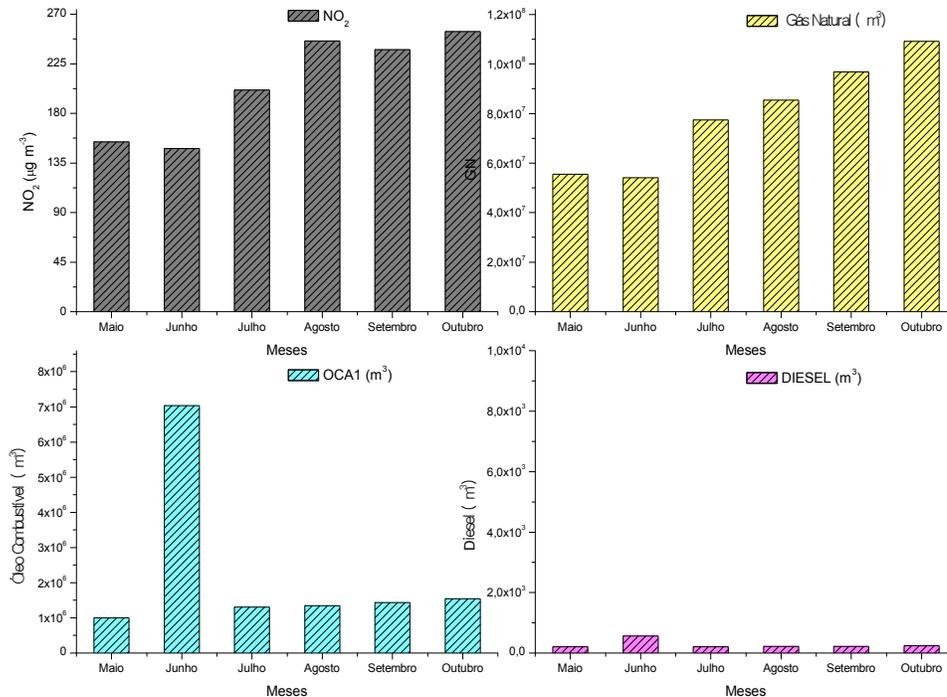


Figura 4. Correlação da quantidade e tipo de combustível queimado na usina termelétrica com o NO<sub>2</sub>.

Analisando a Figura 4, pode-se notar que o tipo de combustível pode ter contribuição na concentração de NO<sub>2</sub> no local de estudo, especialmente em relação ao gás natural. O combustível mais usado na usina de estudo foi o gás natural. O teor de nitrogênio no gás natural, consumido no estado do Amazonas é bastante elevado (20%). Dados experimentais testados por Rangel e Büchler (2005), mostraram redução nas emissões de 21% a menos quando o teor de nitrogênio no gás natural foi aumentado de 1% para 20%. Isso pode ser explicado em virtude da redução da temperatura interferir na concentração máxima de oxigênio atômico (O) e o radical hidroxila (OH) na zona de combustão, causando a redução da transferência de calor pela perda de energia influenciando as reações de recombinação das espécies instáveis (O, H, OH e HO<sub>2</sub>), que comprometem na formação de NO<sub>2</sub>. Apesar disso, segundo Chaim e Lacava (2005), a quantidade de nitrogênio pode afetar a capacidade calorífica do combustível, promovendo ineficiência na combustão. Essa informação é confirmada por Rangel e Büchler (2005), em que destaca que a utilização do gás natural, com alto teor de nitrogênio, interfere na temperatura de combustão, diminuindo a eficiência do combustível. Desta forma, usa-se maior quantidade de combustível para obter a mesma eficiência térmica quando o gás natural apresentar uma concentração de nitrogênio mais elevada. Pode-se atribuir ao gás natural maior contribuição que os outros combustíveis para o nível de NO<sub>2</sub> na área de estudo.

Conforme Andrade (2010), o óleo diesel contribui com maior quantidade de NO<sub>x</sub> que o óleo combustível, pois sua temperatura de combustão é mais elevada. Quanto maior a temperatura maior a probabilidade de emissão de NO<sub>x</sub>. O óleo diesel é acrescido de 3% de biodiesel o que reduz as emissões de SO<sub>x</sub> e CO<sub>x</sub>. A presença de biodiesel no óleo diesel possibilita maiores emissões de NO<sub>x</sub>, devido sua composição apresentar quantidade significativas de nitrogênio. Porém, tanto o óleo diesel como o óleo combustível foram usados para complementação do sistema de abastecimento da usina estudada, sendo suas quantidades minoritárias em relação ao gás natural.

## CONCLUSÃO

A pesquisa desenvolvida representa uma aplicação à escala urbana e industrial por técnica de amostragem passiva, permitindo trabalhar com grande quantidade de pontos de amostragem e possibilitando observar a influência de fontes direta de emissão. O nível médio da concentração de NO<sub>2</sub> encontra-se em consonância com o parâmetro normalizado pela resolução nacional, porém irregular com os moldes instituídos pela Organização Mundial de Saúde que estabelece limites mais rígidos.

A análise exploratória dos níveis de NO<sub>2</sub> mostrou que esses níveis sofrem interferência dos locais de amostragem que podem ser menor ou maior de acordo com a localização do ponto e o período do ano. Os resultados obtidos nessa pesquisa reforçam a hipótese já apontada por diversos autores de que os níveis de NO<sub>2</sub> são influenciados principalmente pela combustão proveniente de fontes fixas seguido das fontes móveis e pela interferência das condições meteorológicas. Avaliando-se os fatores que podem ter influenciado nos níveis da concentração de NO<sub>2</sub>, percebe-se que em virtude da localização dos amostradores passivos ter sido instalado muito próximo das chaminés da usina termelétrica e nessa área existirem mais três outras usinas termelétricas, a maior contribuição nos níveis encontrados nessa área é conferida a essas fontes. Porém, não foi possível mensurar individualmente e no montante o grau de contribuição da usina de estudo e das outras usinas nesses níveis de NO<sub>2</sub>, havendo também nesta região o subsídio das cargas das emissões veiculares no local de estudo.

## REFERÊNCIA

ANDRADE, C. S. *Energia Elétrica e as Populações Tradicionais do Estado do Amazonas: Aprendizados a partir da Experiência na Comunidade do Roque na Reserva Extrativista do Médio Juruá*. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético, 2010.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2. ed. Porto Alegre, Bookman. 2002. 622p.

CAMPOS, V. P.; CRUZ, L. P. S.; ALVES, E. M.; SANTOS, T. S.; SILVA, A. D.; SANTOS, A. C. C.; LIMA, A. M. V.; PAIXÃO, C. S.; SANTOS, D. C. M. B.; BRANDÃO, D. S.; ANDRADE, E. J. S.; MOREIRA JR, J. I.; CONCEIÇÃO, K. C. S.; RAMOS, M. S.; PONTES,

M. C. G.; AMARAL, M. F.; MATTOS, R. R. Monitoramento Atmosférico Passivo de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> em Áreas Urbanas e de Influência Industrial como Prática de Química Ambiental para Alunos de Graduação. *Química Nova*, v. 29, n. 4, 2006.

CHAIM, R. C. P.; LACAVAL, P. T. Avaliação Sobre a Emissão de Poluentes na Substituição do Óleo Combustível por Gás Natural – Estudo de Caso para Caldeiras Geradoras de Vapor Industrial. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v. 26, n.º. 2, p. 111-123. 2005.

COSTA, M. P.; CARTAXO E. F. Avaliação sobre as Emissões de Dióxido de Carbono e Óxido de Nitrogênio na Substituição de Óleo Combustível por Gás Natural na Matriz Energética de Manaus-AM. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ 2012. Búzios, Rio de Janeiro.

COSTA, M. P.; SARGENTINI JUNIOR, E.; BOLSON, M.; PASSOS, V.; BASTOS, S. B. S. Estudo dos Níveis de Dióxido de Nitrogênio por Amostragem Passiva no Distrito Industrial de Manaus-AM. In: 52º Congresso Brasileiro de Química, Recife. 2012.

MARINHO, N. S. *Mapeamento da Distribuição de Dióxido de Nitrogênio na Cidade de Manaus*. Programa de Pós-Graduação em Química - PPGQ. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Dissertação de Mestrado, 2007.

MARINHO, N. S. *Mapeamento da Distribuição de Dióxido de Nitrogênio na Cidade de Manaus*. Programa de Pós-Graduação em Química - PPGQ. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Dissertação de Mestrado, 2007.

PALMES, E. D.; LINDENBOOM, R. H. Ohm's law, Fick's law and Diffusion Samplers for Gases. *Analytical Chemistry*, v. 51, 1979.

RANGEL, L. P.; BUCHLER, P. M. Estudo do Nitrogênio na Combustão do Gás Natural. *Química Nova*, vol. 28, n.º6, 957-963, 2005.

SALLES, L. PIUZANA, D. Monitoramento e Interpretação da Qualidade do Ar para Material Particulado na Área de Influência do Aterro Sanitário de Belo Horizonte. *Revista Geonomos*, n. 14, p.17. 2006.

VALOIS, I. M. C.; CARTAXO, E. F.; CHAAR, J. S. A Mudança na Matriz Energética e o potencial impacto dos Óxidos de Nitrogênio na Atmosfera Urbana da cidade de Manaus In: The 9th Latin-american Congress on Electricity Generation and Transmission - Clagtee 2011, Mar Del Plata - Argentina. Proceeding of 9th Latin-American Congress: Electricity Generation, 2011.

VALOIS, I. M. H. *Estudo das Concentrações de Óxidos de Nitrogênio em Área Urbana da Cidade de Manaus por Analisadores Automáticos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Amazonas, UFAM. Programa de Pós-Graduação em Química. Manaus, outubro, 2012.