

RESSALVA

**Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo deste
documento será
disponibilizado somente a
partir de 23/08/2026.**

PROGRAMA DE PÓS-DOUTORADO DA UNESP
INSTITUTO DE QUÍMICA DE ARARAQUARA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICO-QUÍMICA E INORGÂNICA

RELATÓRIO FINAL DE PÓS-DOUTORADO

INSTITUIÇÃO DE EXECUÇÃO DO PROJETO:

Instituto de Química - Câmpus de Araraquara

Rua Prof. Francisco Degni, 55 - Quitandinha
Araraquara/SP - CEP 14800-060



SUPERVISOR DO PROJETO:

Prof. Dr. Arnaldo Alves Cardoso (Departamento de Química Analítica, Físico-Química e Inorgânica, IQAr)

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO:

Título: O impacto do uso de fertilizantes na emissão de nitrogênio pelo solo

Palavras-chave: Atmosfera, fertilizantes nitrogenados, fluxo de emissão, amônia, dióxido de nitrogênio

Pós-doutoranda: Cristine de Mello Dias Machado

Instituição de origem: Universidade Federal do Amazonas

Período de desenvolvimento do projeto: 08/03/2024 a 07/03/2025

CRISTINE DE MELLO DIAS MACHADO

O impacto do uso de fertilizantes na emissão de nitrogênio pelo solo

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Química, Araraquara.

Supervisor: Prof. Dr. Arnaldo Alves Cardoso

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM)

Nº do Processo: 01.02.016301.00609/2024-06

Araraquara

2025

RESUMO

Os gases de nitrogênio reativo atmosféricos óxidos de nitrogênio (NO , NO_2) e amônia (NH_3) atuam na formação da chuva ácida, de micro e nanopartículas na atmosfera e podem alterar os solos, águas e vegetação. A volatilização de parte do fertilizante nitrogenado aplicado no cultivo são uma fonte importante de GNR para a atmosfera. Assim, conhecer as taxas de emissão natural de GNR de um solo amazônico típico e a sua resposta à aplicação de fertilizante nitrogenado são essenciais em um cenário de preservação ambiental para o desenvolvimento sustentável. Com essa proposta foi possível desenvolver e otimizar uma câmara semiaberta para coleta em campo de NO_2 e NH_3 , utilizando amostradores passivos. Fluxos de emissão desses gases foram calculados considerando a aplicação de ureia e nitrato de amônio como fertilizantes no solo. Os materiais utilizados foram de baixo custo e as análises utilizaram equipamento simples (espectrofotômetro na região do ultravioleta-visível) a partir de reação química estabelecida na literatura. A câmara foi validada e foi testada em campo com sucesso. Os fluxos de emissão de NH_3 e NO_2 foram maiores em solo úmido, mostrando a influência da disponibilidade de água nos processos de volatilização do solo. A perda de N- NO_2 nas primeiras 24h após a fertilização foi de 0,04%, em relação ao fertilizante aplicado, enquanto para NH_3 foi de 0,13%, correspondendo a 0,05 kg N- NH_3 /ha/dia. Com os resultados promissores, esse método pode ser aplicado em outras regiões, inclusive remotas contribuindo para o avanço científico-tecnológico da ciência ambiental do Estado do Amazonas.

1. INTRODUÇÃO

Os gases de nitrogênio reativo (GNR) incluem compostos de nitrogênio biologicamente, fotoquimicamente e radiativamente ativos na atmosfera. Dentre eles o NO, NO₂ e a NH₃ são os mais investigados pelos efeitos que causam na chuva ácida, na formação de micro e nanopartículas na atmosfera, bem como pelos perigos da sua deposição nas superfícies (solos, águas e vegetação).

O NO₂ é formado pela oxidação de NO e é regulamentado pelo CONAMA (Res. 491/2018) por ser um indicador da qualidade do ar. A NH₃ tem papel importante na formação de partículas da fração fina (PM_{2,5}), que é também um parâmetro regulamentado pelo CONAMA. estudo sobre os efeitos da emissão do solo como resultado do ciclo do nitrogênio, que ocorre naturalmente ou que é intensificado pelo uso de fertilizantes. A volatilização de parte do fertilizante nitrogenado aplicado no cultivo, que ocorre a partir de sua transformação em espécies voláteis de nitrogênio, contribui para a formação da fração de partículas menores, capazes de serem levadas para longe de onde são formadas.

Diversas técnicas têm sido empregadas para medir as emissões de gases do solo para a atmosfera. Idealmente, o método deve ser robusto, portátil e permitir medições em múltiplos pontos (em diversas parcelas ou subparcelas), para identificar variações sazonais e espaciais, auxiliando na implementação de estratégias de manejo do solo.

As taxas de emissão podem variar de acordo com as condições climáticas locais (como umidade, precipitação e radiação solar), bem como ser influenciadas pela concentração de gases de fundo, portanto, o equipamento utilizado deve ser capaz de detectar mudanças nas emissões durante um experimento. Além disso, o dispositivo de medição deve garantir que as características químicas e biológicas do solo sejam mantidas o mais próximo possível das condições naturais.

Conhecer as taxas de emissão natural de GNR em solos, inclusive de áreas remotas como o arco do desmatamento na Amazônia, e a sua resposta à aplicação de fertilizante nitrogenado são essenciais em um cenário de preservação ambiental para o desenvolvimento sustentável.

Várias técnicas têm sido empregadas para medir as emissões de gases do solo para a atmosfera. Idealmente, o método deve ser robusto, portátil e permitir medições em vários pontos (em diversas parcelas ou subparcelas), para identificar variações sazonais e espaciais, auxiliando na implementação de estratégias de manejo do solo. As taxas de emissão podem variar de acordo com as condições climáticas locais (como umidade, precipitação e radiação solar), bem como ser influenciadas pela concentração de gás emitido naturalmente, então o equipamento usado deve ser capaz de detectar mudanças nas emissões durante um experimento. Além disso, o dispositivo de medição deve garantir que as características químicas e biológicas do solo sejam mantidas o mais próximo possível das condições naturais.

O dispositivo utilizado neste trabalho é conhecido como câmara semiaberta estática e é empregada para medição das taxas de volatilização de gases traço do solo fertilizado. Este modelo tem aberturas para troca de ar, sem necessidade de bomba de ar, e para

As vantagens desta câmara semiaberta são a facilidade de construção e transporte e a não necessidade de energia elétrica. Da mesma forma, os amostradores passivos oferecem simplicidade de montagem, transporte e operação em campo. Eles também são reutilizáveis e requerem apenas pequenas quantidades de reagentes. Essas características são altamente vantajosas para estudos de grandes áreas de cultivo, permitindo o mapeamento das emissões com base em um banco de dados substancial, sendo, conseqüentemente, mais representativos das emissões regionais.

Como referências base utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho citam-se abaixo:

Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M., Batjes, N.H., 2002. Estimation of global NH₃ volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global Biogeochem Cycles* 16. <https://doi.org/10.1029/2000gb001389>

Breuninger, C., Oswald, R., Kesselmeier, J., Meixner, F.X., 2012. The dynamic chamber method: Trace gas exchange fluxes (NO, NO₂, O₃) between plants and the atmosphere in the laboratory and in the field. *Atmos Meas Tech*. <https://doi.org/10.5194/amt-5-955-2012>

Garcia, G., Allen, A.G., Cardoso, A.A., 2010. Development of a sensitive passive sampler using indigotrisulfonate for the determination of tropospheric ozone. *Journal of Environmental Monitoring* 12, 1325–1329. <https://doi.org/10.1039/b920254d>

Jiang, Y., Deng, A., Bloszies, S., Huang, S., Zhang, W., 2017. Nonlinear response of soil ammonia emissions to fertilizer nitrogen. *Biol Fertil Soils* 53, 269–274. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1175-3>

Pavelka, M., Acosta, M., Kiese, R., Altimir, N., Brümmer, C., Crill, P., Darenova, E., Fuß, R., Gielen, B., Graf, A., Klemetsson, L., Lohila, A., Longdoz, B., Lindroth, A., Nilsson, M., Jiménez, S.M., Merbold, L., Montagnani, L., Peichl, M., Pihlatie, M., Pumpanen, J., Ortiz, P.S., Silvennoinen, H., Skiba, U., Vestin, P., Weslien, P., Janous, D., Kutsch, W., 2018. Standardisation of chamber technique for CO₂, N₂O and CH₄ fluxes measurements from terrestrial ecosystems. *Int Agrophys* 32, 569–587. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0045>

Saltzman, B.E., 1954. Colorimetric Microdetermination of Nitrogen Dioxide in the Atmosphere. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/ac60096a025>

Searle, P.L., 1984. The berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen: A review. *Analyst* 109, 549–568. <https://doi.org/10.1039/AN9840900549>