

Proposta de projeto de pós-doutorado da FAPESP
Submeta sua proposta até 30 de abril de 2026

Caracterização de partículas de aerossóis orgânicos na Amazônia, seu papel na formação e crescimento de partículas e seus efeitos no ecossistema

Supervisor: Prof. Paulo Artaxo

Laboratório de Física Atmosférica – Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Pós-doutorado associado ao Projeto Temático FAPESP 2023/05438-9 - Interações Gases-Aerossóis-Nuvens na Amazônia: das Emissões de Bioaerossóis aos Impactos em Grande Escala (GAIA)

Introdução

Os aerossóis orgânicos dominam a composição dos aerossóis, representando 70-85% da massa dos aerossóis na Amazônia (Artaxo et al., 2022). Existem dois componentes de aerossóis orgânicos em florestas tropicais: partículas primárias de aerossol biológico (PBAP) e aerossóis orgânicos secundários (SOA). O PBAP domina a moda grossa, que consiste em pólen, fungos, bactérias e detritos vegetais. A produção de SOA envolve uma variedade de gases-traço, incluindo compostos orgânicos voláteis biogênicos (BVOCs), compostos aromáticos, óxidos de nitrogênio (NOx), ozônio (O₃), radical hidroxila (OH) e espécies de enxofre, como sulfeto de dimetila (DMS) e dióxido de enxofre (SO₂).

Apesar da importância regional e global da Floresta Amazônica para a atmosfera, especialmente para o ciclo hidrológico, ainda existem lacunas significativas em nossa compreensão dos mecanismos de formação de nanopartículas atmosféricas na região, que estão acoplados à formação e ao crescimento de aerossóis orgânicos (Artaxo et al., 2019). O componente de aerossol orgânico desempenha um papel climatológico fundamental, pois afeta o balanço radiativo e atua como núcleo de condensação de nuvens (CCN), influenciando a formação de nuvens e a precipitação. A atmosfera amazônica, especialmente durante a estação chuvosa, apresenta características próximas às condições pré-industriais, tornando-se um ambiente ideal para investigar processos naturais pouco compreendidos de formação, crescimento e transformação de aerossóis (Davidson et al., 2012). Este plano de trabalho inclui a realização de experimentos integrados de longo prazo na torre ATTO e de campanhas intensivas em diferentes biomas, utilizando instrumentação avançada para caracterizar as propriedades químicas e físicas de aerossóis orgânicos e de seus precursores gasosos. Abordagens analíticas inovadoras, incluindo espectrometria de massa de alta resolução, estatística multivariada e modelagem de crescimento de partículas, serão empregadas para integrar e interpretar grandes volumes de dados observacionais, meteorológicos e ambientais. Os resultados esperados incluem a geração de novos bancos de dados multidimensionais sobre a composição de aerossóis orgânicos da Amazônia, a identificação de precursores-chave e a caracterização das vias de nucleação de nanopartículas sob diferentes regimes ambientais. O pesquisador dará uma contribuição decisiva para reduzir as incertezas sobre o papel dos aerossóis no

ecossistema amazônico e trabalhará de forma integrada com outras análises do projeto temático FAPESP 2023/04358-9.

Objetivos

O objetivo central deste plano de trabalho é aprofundar a compreensão dos mecanismos físico-químicos que regem a formação, o crescimento e a transformação de partículas de aerossol orgânico na atmosfera amazônica, elucidando como esses processos são modulados por fatores ambientais, sazonais, ecossistêmicos e antropogênicos, bem como suas implicações para o clima regional e global (Curtius et al., 2024). Para atingir esse objetivo, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

1. Identificar e quantificar os principais precursores moleculares e vias nos processos de nucleação e crescimento de nanopartículas e aerossóis orgânicos na Amazônia, com ênfase em espécies orgânicas altamente oxigenadas, ácidos inorgânicos fortes, oxidantes atmosféricos e nucleação neutra versus iônica, por meio de medições em tempo real e análises offline de alta resolução.
2. Investigar como fatores ambientais e ecossistêmicos, incluindo variáveis meteorológicas, extremos climáticos, composição da vegetação e uso da terra, modulam a formação, o crescimento e a transformação de aerossóis finos e ultrafinos em dois locais com estruturas de vegetação distintas: Torre ATTO e ATTO-Campina.
3. Avaliar a variabilidade espacial e vertical dos processos de formação e evolução de partículas, integrando observações terrestres, em torres e aéreas, para compreender o papel do transporte atmosférico, dos gradientes do ecossistema e das zonas de interface.
4. Desenvolver e aplicar abordagens analíticas inovadoras — como Espectrometria de Massa de Aerossóis Orgânicos de Alta Resolução, estatística multivariada e modelagem do crescimento de partículas — para integrar, analisar e interpretar grandes volumes de dados atmosféricos e ambientais, identificando padrões e relações causais.
5. Gerar novas parametrizações e conhecimento aplicável para apoiar modelos atmosféricos e estratégias de monitoramento, reduzindo as incertezas nas projeções climáticas e na qualidade do ar na Amazônia.

Metodologia

O plano de pós-doutorado será desenvolvido com base em uma abordagem experimental e analítica integrada, com foco na análise de extensas séries temporais, de múltiplas campanhas de campo e de análises laboratoriais avançadas. O ponto de partida é a integração de mais de uma década de dados do sítio ATTO, incluindo composição de aerossóis (ACSM), oxidantes atmosféricos (O_3 , NO_x), COVs (PTRMS) e meteorologia.

Medições de rotina serão realizadas em dois locais: a torre ATTO e ATTO-Campina (Machado et al., 2024). O experimento AMAZE27 incluirá uma série de medições e experimentos avançados, projetados para investigar os mecanismos de formação de novas partículas logo acima da copa da Floresta Amazônica (Kulmala et al., 2013). A copa da floresta na região do ATTO atinge alturas de 30 a 40 metros, enquanto a instrumentação para gases traço e aerossóis é instalada ao longo da torre ATTO, desde o nível do solo até 325 metros.

Durante o projeto, o pesquisador participará de campanhas intensivas, como a campanha internacional AMAZE27 de 2027 durante a estação chuvosa da ATTO, e conduzirá experimentos em uma câmara atmosférica aberta e na manipulação controlada de oxidantes. A espectrometria de massa por ionização química (CIMS) será usada para medir precursores de aerossóis e integrá-los aos dados de distribuição de tamanho de partículas, simulando diferentes regimes de oxidação e aprofundando a compreensão dos processos de nucleação e crescimento de partículas ultrafinas.

As amostras coletadas serão processadas e analisadas em nosso próprio laboratório, no LFA/IFUSP e em laboratórios nacionais multiusuários, como o CNPEM e o IQ-PUC-Rio, usando técnicas como EDXRF para composição elementar, espectrometria de massa por reação de transferência de prótons (PTR-MS, Ionicon, Inc.) para medições de COVs e espectrometria de massa de alta resolução Orbitrap para compostos orgânicos de aerossóis. Medições em tempo real serão realizadas usando o Espectrômetro de Massa de Aerossóis por Tempo de Voo (HR-ToF-AMS) e o ACSM – Monitor de Especificação Química de Aerossóis, ambos da Aerodyne Research Inc., capazes de fornecer composição química detalhada e espectros de massa de partículas de aerossol em tempo real.

Esses instrumentos serão complementados com distribuições de número e tamanho de partículas, usando dois Analisadores de Mobilidade de Partículas por Varredura (SMPS, TSI) – cada um composto por um Analisador de Mobilidade Diferencial (DMA) e um Contador de Partículas de Condensação (CPC), bem como por Contadores Ópticos de Partículas para medições de aerossóis na moda grossa, e por um novo sistema de correlação de vórtices para fluxos de partículas de aerossol em operação na torre ATTO.

Justificativa do Plano em relação aos objetivos do Projeto Temático

Este plano de pós-doutorado está diretamente alinhado aos objetivos centrais do projeto temático da FAPESP, que aborda questões fundamentais sobre a formação de aerossóis orgânicos secundários (SOA) e a dinâmica de nanopartículas na Amazônia. As atividades propostas contribuirão para responder às seguintes perguntas:

- Quais são os processos químicos e físicos que controlam a produção de AOS na região e como ocorrem os mecanismos de nucleação e formação de partículas orgânicas, tanto na superfície quanto em altitude (objetivos 2a, 2b e 2d)?
- Qual a relação entre a distribuição do tamanho das partículas, as propriedades ópticas e a atividade como núcleos de condensação de nuvens (NCC) (objetivos 3a e 3b)?

- Como a variabilidade de fontes biogênicas, incêndios e emissões de longa distância afeta o ciclo de vida dos aerossóis amazônicos e seus impactos na química atmosférica e nos processos de formação de nuvens e de precipitação (tópicos 3a, 4a e 4c)?

Condições gerais

A vaga é aberta a brasileiros e estrangeiros. Os selecionados receberão uma bolsa de Pós-Doutorado da FAPESP no valor de R\$ 12.570,00 por mês e uma Reserva Técnica equivalente a 10% do valor anual da bolsa, destinada a cobrir despesas imprevistas diretamente relacionadas à atividade de pesquisa.

A vaga é para o Laboratório de Física Atmosférica do Instituto de Física da USP, onde o(a) bolsista trabalhará com o Prof. Paulo Artaxo. O(A) candidato(a) deve ter experiência em química atmosférica, física atmosférica, meteorologia ou áreas afins. O projeto tem duração de 2 anos, com início no segundo semestre de 2026.

O(A) candidato(a) deve ter concluído o doutorado há menos de 7 anos. Treinamento ou experiência em campanhas de campo na Amazônia e formação em química, biologia, meteorologia ou física ambiental são desejáveis.

Os(As) candidatos(as) devem enviar por e-mail (artaxo@if.usp.br): 1) um currículo atualizado; 2) uma carta de motivação que descreva a experiência anterior e os interesses de pesquisa; e 3) uma cópia do diploma de doutorado ou do certificado de defesa de tese. **O prazo para envio é 30 de abril de 2026.**

Referências

- Artaxo, P., Hansson, H. C., Andreae, M. O., et al., 2022. Tropical and Boreal Forest – Atmosphere Interactions: A Review. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 74 (2022), 24–163. <https://doi.org/10.16993/tellusb.34.2022>.
- Artaxo, P., Working together for Amazonia. *Editorial Science Magazine*, Vol. 363, Issue 6425, doi: 10.1126/science.aaw6986, January 2019.
- Curtius, J. et al., Isoprene nitrates drive new particle formation in the Amazon’s upper troposphere. *Nature*, Vol. 636, 124-130, <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08192-4>. 2024.
- Davidson, E., Alessandro C. A., P. Artaxo, et al., The Amazon Basin in Transition. *Nature*, Vol. 481, pg. 321-328, <https://doi.org/10.1038/nature10717>, 2012.
- Markku Kulmala et al., Direct Observations of Atmospheric Aerosol Nucleation. *Science* 339, 943-946 (2013). DOI:10.1126/science.1227385
- Machado, L.A.T., Unfer, G.R., Brill, S. et al. Frequent rainfall-induced new particle formation within the canopy in the Amazon rainforest. *Nat. Geosci.* 17, 1225–1232 (2024).
- Blichner, S.M., P. Artaxo, et al., Process evaluation of forest aerosol-cloud-climate feedback shows clear evidence from observations and large uncertainty in models. *Nature Communications*, 15, 969 (2024) <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45001-y>.
- Valiati, R., Artaxo, P. et al., Distinct aerosol populations and their vertical gradients in central Amazonia revealed by optical properties and cluster analysis. *Atmospheric Physics and Chemistry*, 25, 14923-14944, 2025. <https://doi.org/10.5194/acp-25-14923-2025>.