

Uma revisão narrativa sobre artigos desenvolvidos no sítio experimental Amazon Tall Tower Observatory

A narrative review of papers developed on the Amazon Tall Tower Observatory experimental site

Una revisión narrativa de los artículos desarrollados en el sitio experimental de Amazon Tall Tower Observatory

Recebido: 13/10/2021 | Revisado: 20/10/2021 | Aceito: 23/10/2021 | Publicado: 25/10/2021

Valkiria Andrade Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1110-5855>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: valkiriea.costa@ig.ufpa.br

Resumo

Este artigo teve o objetivo de fazer uma revisão narrativa através de uma pesquisa bibliográfica sobre os artigos desenvolvidos no sítio experimental Amazon Tall Tower Observatory (ATTO). Diante do banco de dados proposto pelo Instituto Max Planck, onde se tem todas as publicações revisadas por pares feitas dentro do sítio experimental ATTO desde 2012 até 2021. Então nesse banco de dados, encontrou-se 81 artigos revisados por pares, onde 12 foram classificados como área de pesquisa Estudos Ecológicos (EE), 15 como Condições Meteorológicas e Fluxos (CMF), 48 como Medições da Composição Atmosférica (MCA) e 6 caracterizados como Híbridos (H). O periódico com maior publicações deste projeto é a Atmospheric Chemistry and Physics, tendo publicado 29 artigos desde 2012 até dia 24 de setembro de 2021. Então conclui-se que durante esses 9 anos de publicações, as pesquisas feitas no sítio experimental ATTO foram de grande importância para o entendimento dos efeitos das mudanças climáticas na Floresta Amazônica e espera-se um aumento crescente nessas pesquisas ao longo dos anos.

Palavras-chave: ATTO; Pesquisa bibliográfica; Floresta Amazônica; Instituto Max Planck.

Abstract

This paper had the objective of making a narrative review through a bibliographical research on the articles developed in the experimental site Amazon Tall Tower Observatory (ATTO). In front of the database proposed by the Max Planck Institute, which has all peer-reviewed publications made within the ATTO experimental site from 2012 to 2021. So in this database, 81 peer-reviewed articles were found, where 12 were classified as a research area Ecological Studies (EE), 15 as Meteorological Conditions and Flows (CMF), 48 as Atmospheric Composition Measurements (MCA) and 6 characterized as Hybrids (H). The journal with the largest publications of this project is Atmospheric Chemistry and Physics, having published 29 articles from 2012 until September 24, 2021. So it can be concluded that during these 9 years of publications, the researches done on the ATTO experimental site were of great importance for understanding the effects of climate change in the Amazon Forest and a growing increase in this research over the years is expected.

Keywords: ATTO; Bibliographic research; Amazon rainforest; Max Planck Institute.

Resumen

Este artículo tuvo como objetivo realizar una revisión narrativa a través de una investigación bibliográfica sobre los artículos desarrollados en el sitio experimental Amazon Tall Tower Observatory (ATTO). Frente a la base de datos propuesta por el Instituto Max Planck, que tiene todas las publicaciones revisadas por pares realizadas dentro del sitio experimental de ATTO de 2012 a 2021. Entonces en esta base de datos se encontraron 81 artículos revisados por pares, de los cuales 12 fueron clasificados como una investigación del área de Estudios Ecológicos (EE), 15 como Condiciones y Flujos Meteorológicos (CMF), 48 como Medidas de Composición Atmosférica (MCA) y 6 caracterizados como Híbridos (H). La revista con mayores publicaciones de este proyecto es Atmospheric Chemistry and Physics, habiendo publicado 29 artículos desde 2012 hasta el 24 de septiembre de 2021. Por lo que se puede concluir que durante estos 9 años de publicaciones, las investigaciones realizadas en el sitio experimental ATTO fueron de gran importancia para comprender los efectos del cambio climático en la Selva Amazónica y se espera un incremento creciente de esta investigación a lo largo de los años.

Palabras clave: ATTO; Investigación bibliográfica; Selva amazónica; Instituto Max Planck.

1. Introdução

A Bacia Amazônica atua em funções importantes nos ciclos do carbono e da água, mudanças climáticas, química

atmosférica e biodiversidade. Já foi modificado consideravelmente pelas práticas humanas, e espera-se que uma mudança mais abrangente ocorra nas próximas décadas (Andreae et al., 2015). A Amazônia, no domínio da maior floresta tropical contínua do mundo, tem relevância global. É morada de mais da metade das espécies de animais e plantas do planeta e abrange 40% de toda biomassa vivente. Uma abundância de plantas fornece grandes quantidades de oxigênio ao mesmo tempo que remove dióxido de carbono da atmosfera através da fotossíntese. Além do mais, essa imensa floresta tropical controla os ciclos de água da América do Sul. A Amazônia comporta-se como o pulmão e o coração pulsante do nosso planeta. Portanto, é fundamental compreender melhor os grandes processos e interações dentro do ecossistema. O Observatório de Torre Alta Amazônia - Amazon Tall Tower Observatory (ATTO) é um local de pesquisa na floresta amazônica brasileira. No ponto central, há um mastro feito de barras de aço de 325 metros de altura. Ele também contém duas outras torres de 80 metros de altura, além de inúmeros laboratórios em containers e um acampamento para acomodar os cientistas e técnicos que lá atuam (“Observatório de Torre Alta”, [s.d.]).

O projeto foi originado em 2009. Com o ATTO, o objetivo fundamental é ampliar a da floresta amazônica e suas interações com o solo abaixo e a atmosfera acima. No coração do projeto encontra-se o querer de conhecer mais sobre os ciclos biogeoquímicos (como o ciclo do carbono), o ciclo da água e os fluxos de energia na Amazônia. Pretende-se complementar a lacuna na rede de monitoramento do clima mundial e esperam conquistar novos conhecimentos sobre as concepções essenciais de troca de gases e formação de nuvens em florestas tropicais. Com os resultados do ATTO, pretende-se aperfeiçoar os modelos de previsões climáticas e certificar a importância da Amazônia dentro do sistema climático (“Observatório de Torre Alta”, [s.d.]).

Pesquisadores dos Institutos Max Planck de Química de Mainz e de Biogeoquímica de Jena na Alemanha já idealizavam com um centro de pesquisa na Amazônia desde o final dos anos 1990. Já naquele tempo, estavam cientes do valor dessa floresta tropical para o clima global. Mas não havia chances de fazer observações contínuas de longo prazo precisas o suficiente para vincular a importância da floresta tropical a redes globais de monitoramento do clima e da atmosfera. Muitos anos passaram antes da ideia inicial se tornar realidade, mas o momento veio em 2010. Em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) de Manaus, pesquisadores montaram a primeira infraestrutura. A equipe construiu uma torre de 80 metros de altura e um mastro da mesma estatura. Fazer as primeiras medições atmosféricas passou a ser viável. A torre e o mastro formam a base para observação contínua e de longo prazo ligando a floresta amazônica central à atmosfera e ao clima global (“Aniversário dos marcos da ATTO”, 2020).

Desde aquele momento, o centro de pesquisa não para de desenvolver-se. Mais de 200 pesquisadores de universidades e instituições de pesquisa em muitos países colaboram: biólogos, ecologistas, meteorologistas, químicos e físicos atmosféricos trabalham em questões relevantes para o clima de forma interdisciplinar. Alguns estudos fornecem informações sobre processos locais influenciados pela composição de espécies de plantas e condições geográficas, entre outras coisas. Além disso, ao longo dos últimos cinco anos, a torre alta permitiu que pesquisadores coletassem dados atmosféricos que sofrem influência de uma área de centenas de quilômetros quadrados de floresta tropical (“Aniversário dos marcos da ATTO”, 2020).

Dessa forma, os tipos de experimentos realizados no sítio experimental ATTO são: medições de variáveis micrometeorológicas e químicas atmosféricas, iniciadas desde 2012, se ampliando nos últimos anos. As medições meteorológicas e micrometeorológicas incluem perfis de temperatura e vento, precipitação, fluxos de água e energia, componentes de turbulência, perfis de temperatura do solo e fluxos de calor do solo, fluxos de radiação e visibilidade. Uma árvore é instrumentada para medir os perfis de temperatura do caule, intensidade de luz e teor de água em coberturas criptogâmicas. As medições de gases traço compreendem o monitoramento contínuo de dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano e ozônio em cinco a oito alturas diferentes, complementadas por uma variedade de espécies adicionadas medidas durante campanhas intensivas. Medições ópticas, microfísicas e químicas do aerossol estão sendo feitas acima do dossel, bem como no espaço do dossel. Incluem-se medições de dispersão e absorção de luz de aerossol, fluorescência, número e distribuições

de tamanho de volume, composição química, concentrações de núcleos de condensação de nuvem e higroscopicidade (Andreae et al., 2015).

Ao longo dos primeiros 5 a 10 anos deste projeto de longo prazo, a equipe já fez uma infinidade de descobertas. Por exemplo, as plantas, principalmente as árvores maiores, reutilizam 60% da chuva que cai sobre a Amazônia e as reenviam para a atmosfera por intermédio da transpiração. Mas para reformar as nuvens, são necessários núcleos de condensação de nuvens. A atmosfera intacta em torno do ATTO contém muito poucos aerossóis, como poluentes, durante a estação de chuvas. Em vez disso, os gases orgânicos emitidos pelo dossel das árvores para a alta atmosfera exercem uma função importante. Por entre reações químicas, eles formam partículas na atmosfera que influenciam as propriedades das nuvens e a precipitação. Esses gases envolvem compostos orgânicos voláteis. Apesar de a Amazônia representar apenas 4% da superfície terrestre, 25 a 40% das emissões globais de compostos orgânicos voláteis vêm da região amazônica. No entanto, sua formação muda com o aumento do estresse hídrico (“Aniversário dos marcos da ATTO”, 2020).

Descobertas recentes indicam que os ciclos oxidantes atmosféricos na camada limite são ainda muito mais ativos do que se supunha anteriormente, mas os mecanismos destas reações ainda são uma questão de pesquisa ativa (Lelieveld et al., 2008; Martinez et al., 2010; Taraborelli et al., 2012; Nölscher et al., 2014). O funcionamento deste mecanismo de autolimpeza é desafiado por atividades humanas que alteram as emissões da biosfera e adicionam poluentes da queima de biomassa e atividades industriais. Isso pode converter a “máquina de lavar” em um reator que produz poluição fotoquímica com altas concentrações de ozônio e outros poluentes atmosféricos, e grandes quantidades de aerossóis finos - que por sua vez influenciam a formação de nuvens e precipitação e, assim, modificam os ciclos de água e químicos (Pöschl et al., 2010). O aumento das concentrações de ozônio na Amazônia, resultante das emissões da queima de biomassa, também foi implicado em danos às plantas, o que pode diminuir substancialmente a absorção de carbono pela floresta Amazônica (Pacífico et al., 2015).

As concentrações e tipos de partículas de aerossol na Bacia Amazônica exibem grandes variações no tempo e no espaço. Na ausência de poluição de fontes regionais ou distantes, e especialmente na estação chuvosa, a Amazônia tem uma das menores concentrações de aerossóis de qualquer região continental (Roberts et al., 2001; Andreae, 2009; Martin et al., 2010b; Pöschl et al., 2010; Andreae et al., 2012; Artaxo et al., 2013; Rizzo et al., 2013). Aerossóis biogênicos emitidos diretamente pela biota ou produzidos fotoquimicamente a partir de vapores orgânicos biogênicos, constituem a maior parte desse aerossol de “período limpo” (Martin et al., 2010a). No outro extremo, durante a estação de queima de biomassa no sul da Amazônia, as concentrações de aerossóis em grandes regiões são tão altas quanto nas áreas urbanas mais poluídas do mundo (Artaxo et al., 2002; Eck et al., 2003; Andreae et al., 2004). Essas mudanças nas cargas de aerossol atmosférico têm fortes impactos no balanço de radiação, física das nuvens, precipitação e fotossíntese das plantas (Schafer et al., 2002; Williams et al., 2002; Andreae et al., 2004; Lin et al., 2006; Oliveira et al., 2007; Freud et al., 2008; Bevan et al., 2009; Martins et al., 2009; Vendrasco et al., 2009; Sena et al., 2013; Cirino et al., 2014; Rap et al., 2015). Entradas episódicas de poeira do Saara, fumaça de biomassa da África e aerossóis marinhos transportados por longas distâncias com os ventos alísios complicam ainda mais o quadro (Formenti et al., 2001; Ansmann et al., 2009; Ben-Ami et al., 2010; Baars et al., 2011).

Embora um conhecimento considerável tenha sido adquirido de estudos de estilo de campanha, é claro que o quadro completo não emergirá desses “instantâneos”, mas sim que estudos contínuos de longo prazo são necessários em locais-chave (Hari et al., 2009; Zeri et al., 2014). Isso é verdade especialmente em vista do fato de que a Amazônia e seu ambiente global estão mudando rapidamente, e que observações contínuas são essenciais para acompanhar essas mudanças. É particularmente urgente obter dados de linha de base agora. As observações de torres altas são especialmente úteis para esse propósito, porque permitem medições em várias alturas ao longo da camada limite planetária e, portanto, podem refletir tanto os processos locais nos níveis inferiores quanto às influências regionais nos níveis superiores (Bakwin et al., 1998; Andrews et al., 2014).

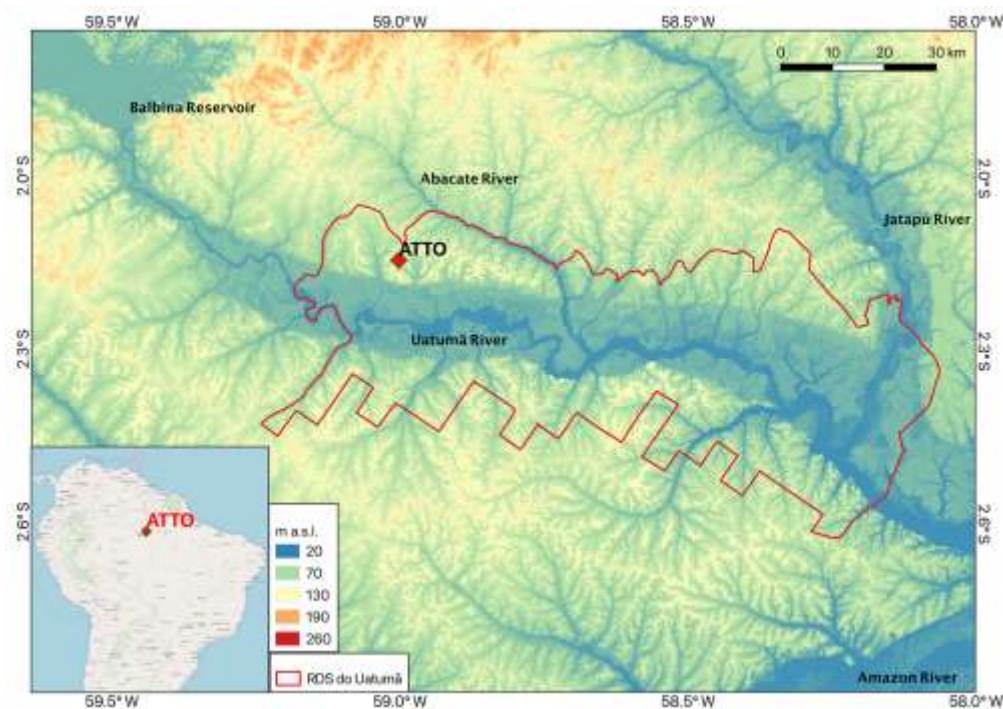
Então este presente artigo tem o objetivo de fazer uma revisão narrativa sobre a pesquisa realizada especificamente pelo

projeto Observatório de Torre Alta Amazônia (ATTO) através de uma análise crítica de literatura dos principais artigos publicados durante o período de 2012 até 2021 e entender suas contribuições para a compreensão do sistema amazônico. O site com todas essas publicações reconhecidas pelo Instituto Max Planck, que é o maior financiador do projeto, foi usado como base de dados (Department Biogeochemical Processes | ATTO / Publications, [s.d.]).

2. Metodologia

O sítio experimental ATTO está localizado a 150 km a nordeste de Manaus, na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã (RDSU), na Amazônia central (Figura 1). Foi instalado em uma região de floresta tropical intocada na Bacia Amazônica central. A RDSU é cortada ao meio pelo rio Uatumã em toda a sua extensão NE-SW. O clima é tropical úmido, caracterizado por uma estação chuvosa acentuada de fevereiro a maio e uma estação mais seca de junho a outubro. Foram construídas duas torres de 80 metros e outra maior de 325 metros. O local das torres está localizado aproximadamente 12 km a NE do rio Uatumã (Andreae et al., 2015).

Figura 1: Localização do ATTO em relação ao continente. A topografia, ao fundo, é baseada no modelo de elevação da missão Shuttle Radar Topography Mission. Os limites da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã (USDR) são destacados no polígono vermelho e os principais rios são identificados.



Fonte: Botía et al. (2020).

Uma pesquisa bibliográfica foi realizada no banco de dados do projeto ATTO, acessado em 24 de setembro de 2021, onde esse banco de dados tem todas as publicações revisadas por pares em periódicos feitas no projeto ATTO entre 2012 a 2021 (Department Biogeochemical Processes | ATTO / Publications, [s.d.]). Todos os artigos foram completamente revisados e classificados em categorias, e assim foi feita uma revisão narrativa para seguir o caminho para se alcançar os resultados e se chegar às conclusões, baseado na metodologia de Kapsar et al. (2019) suporte metodológico para este tipo de pesquisa. Então a partir de 81 publicações, primeiro caracterizou-se todos os artigos por ano de publicação. Depois dividiu-se essas publicações por periódicos. E por fim, dividiu-se os artigos por área de estudos definidos por Andreae et al. (2015), sendo eles: Condições

meteorológicas e fluxos (CMF), Medições da Composição Atmosférica (MCA) e Híbridos (H). Esta última área, é quando envolve mais de uma área de estudo.

3. Resultados e Discussão

De forma geral, nos estudos ecológicos pode-se observar que o sítio ATTO está localizado em uma área de alta biodiversidade, contendo ecossistemas de florestas e pântanos que são representativos de muitas regiões da Bacia Amazônica central. As medições meteorológicas refletem as condições de precipitação, temperatura e vento típicas da região, com acentuada sazonalidade nas origens das chuvas e das massas de ar, mas também mostram uma variabilidade interanual substancial. Os estudos micrometeorológicos caracterizaram a camada limite noturna e seu acoplamento com a atmosfera sobrejacente, as propriedades das estruturas de turbulência na camada limite e a formação de ondas gravitacionais orograficamente induzidas. Medições contínuas dos gases de carbono CO₂, CO e CH₄ em cinco alturas revelam os efeitos da fotossíntese e respiração na distribuição vertical de CO₂, a presença de uma fonte de CO no solo da floresta, e ainda não identificada como fontes intensivas de CH₄. As medições de reatividade de ozônio, Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e (Hidróxido) OH indicam uma fotoquímica ativa de ciclo térmico na camada limite tropical e um forte sumidouro de ozônio na floresta. O aerossol atmosférico é fortemente influenciado por variações sazonais nas origens das massas de ar. Na estação chuvosa, quando as massas de ar vêm do nordeste através da floresta tropical quase intacta, há longos períodos em que prevalecem os aerossóis biogênicos naturais, caracterizados por baixas concentrações de partículas e uma fração muito grande de matéria orgânica. Apesar de consideráveis esforços de pesquisa, o modo de formação desses aerossóis permanece enigmático. Nucleação e novos eventos de formação de partículas quase nunca são observados no ar limpo da Amazônia (Andreae et al., 2015).

Durante a estação chuvosa, o aerossol biogênico sobre a Amazônia é impresso periodicamente por episódios de transporte transatlântico intenso, que trazem poeira do Saara, fumaça de incêndios na África Ocidental, aerossóis marinhos do Atlântico e possivelmente poluição da queima de combustível fóssil resultam na produção persistente e substancial de aerossóis poluentes. No geral, as medições no sítio ATTO apoiam a visão de que não há mais nenhum lugar na Terra que possa ser considerado verdadeiramente primitivo. Mesmo neste local remoto, as concentrações de gases-traço e aerossóis mostram o impacto das emissões antropogênicas. Para espécies de vida longa, como CO₂ e CH₄, isso reflete o aumento secular nas concentrações como resultado das emissões globais. Para gases-traço e aerossóis de vida curta, os efeitos de fontes regionais e de transporte de longo alcance podem ser detectados quase sempre, embora possam ser muito pequenos durante os períodos mais limpos (Andreae et al., 2015).

A quantidade de artigos feitos no sítio experimental ATTO mostra uma tendência clara e crescente ao longo dos primeiros 10 anos de publicação (Figura 2).

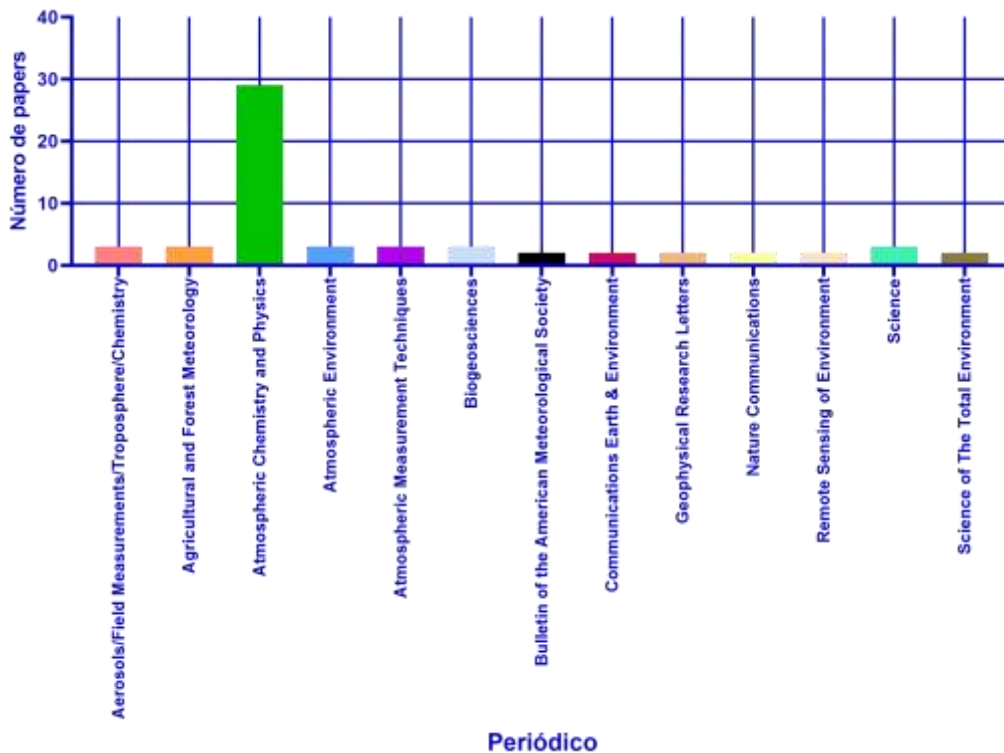
Figura 2: Número de artigos publicados mencionados por ano. * Os dados de 2021 vão até 24 de setembro de 2021.



Fonte: Autora (2021).

Os artigos acadêmicos reconhecidos pelo Projeto ATTO foram publicados em 34 diferentes periódicos revisados por pares nos últimos cinco anos. Atmospheric Chemistry and Physics é o periódico com maiores publicações feitas no sítio ATTO, tendo publicado 29 artigos desde 2012 até dia 24 de setembro de 2021 (Figura 3).

Figura 3: Frequência de artigos feitos no sítio experimental ATTO publicados em periódicos acadêmicos de 2012 até dia 24 de setembro de 2021 (excluiu-se periódicos que publicaram apenas um artigo).

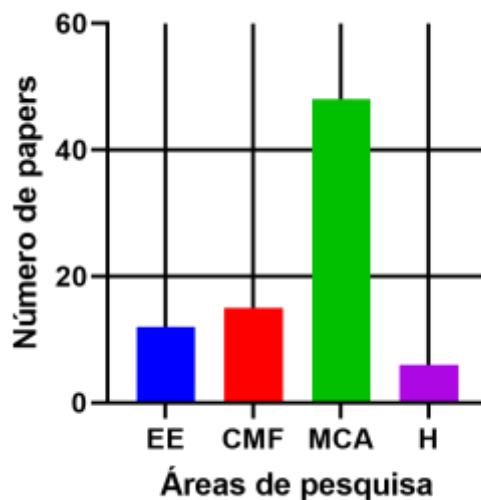


Fonte: Autora (2021).

Dos 81 artigos revisados, 12 foram classificados como área de pesquisa Estudos Ecológicos (EE), 15 como Condições Meteorológicas e Fluxos (CMF), 48 como Medições da Composição Atmosférica (MCA) e 6 caracterizados como Híbridos (H)

(Figura 4).

Figura 4: Frequência de cada categoria de área de pesquisa na revisão da literatura (n = 81).



Fonte: Autora (2021).

4. Conclusão

Em vista que a Amazônia e seu ambiente global estão mudando rapidamente e que observações contínuas são essenciais para acompanhar essas mudanças. As observações de torres altas são especialmente úteis para esse propósito, porque permitem medições em várias alturas ao longo da camada limite planetária e, portanto, podem refletir tanto os processos locais nos níveis inferiores quanto às influências regionais nos níveis superiores (Bakwin et al., 1998; Andrews et al., 2014).

Conclui-se que é essencial estabelecer locais de medição de longo prazo que forneçam um registro básico das condições climáticas, biogeoquímicas e atmosféricas atuais e que serão operados nas próximas décadas para monitorar as mudanças na região amazônica, à medida que as perturbações humanas aumentam no futuro. Então espera-se um aumento crescente das pesquisas feitas no sítio experimental ATTO durante os próximos anos, além de inúmeras pesquisas já feitas durante esses 9 anos de publicações.

Sugere-se que em pesquisas futuras sejam exploradas e sistematizadas quais as metodologias e resultados obtidos no sítio experimental ATTO para entender melhor o impacto desse projeto para o futuro da Floresta Amazônica. Isso influenciará como lidamos com os problemas futuros da Floresta Amazônica e com o clima global.

Referências

- Andreae, M. O., Acevedo, O. C., Araùjo, A., Artaxo, P., Barbosa, C. G. G., Barbosa, H. M. J., Brito, J., Carbone, S., Chi, X., Cintra, B. B. L., da Silva, N. F., Dias, N. L., Dias-Júnior, C. Q., Ditas, F., Ditz, R., Godoi, A. F. L., Godoi, R. H. M., Heimann, M., Hoffmann, T., & Yáñez-Serrano, A. M. (2015). The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO): Overview of pilot measurements on ecosystem ecology, meteorology, trace gases, and aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(18), 10723–10776. <https://doi.org/10.5194/acp-15-10723-2015>
- Andreae, M. O., Artaxo, P., Beck, V., Bela, M., Freitas, S., Gerbig, C., Longo, K., Munger, J. W., Wiedemann, K. T., & Wofsy, S. C. (2012). Carbon monoxide and related trace gases and aerosols over the Amazon Basin during the wet and dry seasons. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(13), 6041–6065. <https://doi.org/10.5194/acp-12-6041-2012>
- Andreae, M. O. (2009). Correlation between cloud condensation nuclei concentration and aerosol optical thickness in remote and polluted regions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(2), 543–556. <https://doi.org/10.5194/acp-9-543-2009>
- Andreae, M. O., Rosenfeld, D., Artaxo, P., Costa, A. A., Frank, G. P., Longo, K. M., & Silva-Dias, M. A. F. (2004). Smoking Rain Clouds over the Amazon. *Science*, 303(5662), 1337–1342. <https://doi.org/10.1126/science.1092779>

Andrews, A. E., Kofler, J. D., Trudeau, M. E., Williams, J. C., Neff, D. H., Masarie, K. A., Chao, D. Y., Kitzis, D. R., Novelli, P. C., Zhao, C. L., Dlugokencky, E. J., Lang, P. M., Crotwell, M. J., Fischer, M. L., Parker, M. J., Lee, J. T., Baumann, D. D., Desai, A. R., Stanier, C. O., & Tans, P. P. (2014). CO₂, CO, and CH₄ measurements from tall towers in the NOAA Earth System Research Laboratory's Global Greenhouse Gas Reference Network: Instrumentation, uncertainty analysis, and recommendations for future high-accuracy greenhouse gas monitoring efforts. *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(2), 647–687. <https://doi.org/10.5194/amt-7-647-2014>

Aniversário dos marcos da ATTO. (2020, agosto 14). ATTO - Amazon Tall Tower Observatory. <https://www.attoproject.org/pt/atto-celebrates-anniversary-of-milestones/>

Ansmann, A., Baars, H., Tesche, M., Müller, D., Althausen, D., Engelmann, R., Pauliquevis, T., & Artaxo, P. (2009). Dust and smoke transport from Africa to South America: Lidar profiling over Cape Verde and the Amazon rainforest. *Geophysical Research Letters*, 36(11), L11802. <https://doi.org/10.1029/2009GL037923>

Artaxo, P. (2002). Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, 107(D20), 8081. <https://doi.org/10.1029/2001JD000666>

Artaxo, P., Rizzo, L. V., Brito, J. F., Barbosa, H. M. J., Arana, A., Sena, E. T., Cirino, G. G., Bastos, W., Martin, S. T., & Andreae, M. O. (2013). Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: From natural biogenic to biomass burning conditions. *Faraday Discussions*, 165, 203. <https://doi.org/10.1039/c3fd00052d>

Baars, H., Ansmann, A., Althausen, D., Engelmann, R., Artaxo, P., Pauliquevis, T., & Souza, R. (2011). Further evidence for significant smoke transport from Africa to Amazonia: AFRICAN SMOKE IN AMAZONIA. *Geophysical Research Letters*, 38(20), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2011GL049200>

Bakwin, P. S., Tans, P. P., Hurst, D. F., & Zhao, C. (1998). Measurements of carbon dioxide on very tall towers: Results of the NOAA/CMDL program. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 50(5), 401–415. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v50i5.16216>

Ben-Ami, Y., Koren, I., Rudich, Y., Artaxo, P., Martin, S. T., & Andreae, M. O. (2010). Transport of North African dust from the Bodélé depression to the Amazon Basin: A case study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(16), 7533–7544. <https://doi.org/10.5194/acp-10-7533-2010>

Bevan, S. L., North, P. R. J., Grey, W. M. F., Los, S. O., & Plummer, S. E. (2009). Impact of atmospheric aerosol from biomass burning on Amazon dry-season drought. *Journal of Geophysical Research*, 114(D9), D09204. <https://doi.org/10.1029/2008JD011112>

Botía, S., Gerbig, C., Marshall, J., Lavric, J. V., Walter, D., Pöhlker, C., Holanda, B., Fisch, G., de Araújo, A. C., Sá, M. O., Teixeira, P. R., Resende, A. F., Dias-Junior, C. Q., van Asperen, H., Oliveira, P. S., Stefanello, M., & Acevedo, O. C. (2020). Understanding nighttime methane signals at the Amazon Tall Tower Observatory (ATTO). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(11), 6583–6606. <https://doi.org/10.5194/acp-20-6583-2020>

Cirino, G. G., Souza, R. A. F., Adams, D. K., & Artaxo, P. (2014). The effect of atmospheric aerosol particles and clouds on net ecosystem exchange in the Amazon. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(13), 6523–6543. <https://doi.org/10.5194/acp-14-6523-2014>

Department Biogeochemical Processes | ATTO / Publications. <https://www.bgc-jena.mpg.de/bgp/index.php/ATTO/Publications>

Eck, T. F., Holben, B. N., Reid, J. S., O'Neill, N. T., Schafer, J. S., Dubovik, O., Smirnov, A., Yamasoe, M. A., & Artaxo, P. (2003). High aerosol optical depth biomass burning events: A comparison of optical properties for different source regions. *Geophysical Research Letters*, 30(20), 2003GL017861. <https://doi.org/10.1029/2003GL017861>

Formenti, P., Andreae, M. O., Lange, L., Roberts, G., Cafmeyer, J., Rajta, I., Maenhaut, W., Holben, B. N., Artaxo, P., & Lelieveld, J. (2001). Saharan dust in Brazil and Suriname during the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA)—Cooperative LBA Regional Experiment (CLAIRE) in March 1998. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D14), 14919–14934. <https://doi.org/10.1029/2000JD900827>

Freud, E., Rosenfeld, D., Andreae, M. O., Costa, A. A., & Artaxo, P. (2008). Robust relations between CCN and the vertical evolution of cloud drop size distribution in deep convective clouds. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(6), 1661–1675. <https://doi.org/10.5194/acp-8-1661-2008>

Kapsar, K., Hovis, C., Bicudo da Silva, R., Buchholtz, E., Carlson, A., Dou, Y., Du, Y., Furumo, P., Li, Y., Torres, A., Yang, D., Wan, H., Zaehring, J., & Liu, J. (2019). Telecoupling Research: The First Five Years. *Sustainability*, 11(4), 1033. <https://doi.org/10.3390/su11041033>

Lelieveld, J., Butler, T. M., Crowley, J. N., Dillon, T. J., Fischer, H., Ganzeveld, L., Harder, H., Lawrence, M. G., Martinez, M., Taraborrelli, D., & Williams, J. (2008). Atmospheric oxidation capacity sustained by a tropical forest. *Nature*, 452(7188), 737–740. <https://doi.org/10.1038/nature06870>

Lin, J. C., Matsui, T., Pielke, R. A., & Kummerow, C. (2006). Effects of biomass-burning-derived aerosols on precipitation and clouds in the Amazon Basin: A satellite-based empirical study. *Journal of Geophysical Research*, 111(D19), D19204. <https://doi.org/10.1029/2005JD006884>

Martin, S. T., Andreae, M. O., Althausen, D., Artaxo, P., Baars, H., Borrmann, S., Chen, Q., Farmer, D. K., Guenther, A., Gunthe, S. S., Jimenez, J. L., Karl, T., Longo, K., Manzi, A., Müller, T., Pauliquevis, T., Petters, M. D., Prenni, A. J., Pöschl, U., & Zorn, S. R. (2010a). An overview of the Amazonian Aerosol Characterization Experiment 2008 (AMAZE-08). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(23), 11415–11438. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11415-2010>

Martin, S. T., Andreae, M. O., Artaxo, P., Baumgardner, D., Chen, Q., Goldstein, A. H., Guenther, A., Heald, C. L., Mayol-Bracero, O. L., McMurry, P. H., Pauliquevis, T., Pöschl, U., Prather, K. A., Roberts, G. C., Saleska, S. R., Silva Dias, M. A., Spracklen, D. V., Swietlicki, E., & Trebs, I. (2010b). Sources and properties of Amazonian aerosol particles. *Reviews of Geophysics*, 48(2), RG2002. <https://doi.org/10.1029/2008RG000280>

Martinez, M., Harder, H., Kubistin, D., Rudolf, M., Bozem, H., Eerdekens, G., Fischer, H., Klüpfel, T., Gurk, C., Königstedt, R., Parchatka, U., Schiller, C. L., Stickler, A., Williams, J., & Lelieveld, J. (2010). Hydroxyl radicals in the tropical troposphere over the Suriname rainforest: Airborne measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(8), 3759–3773. <https://doi.org/10.5194/acp-10-3759-2010>

Martins, J. A., Silva Dias, M. A. F., & Gonçalves, F. L. T. (2009). Impact of biomass burning aerosols on precipitation in the Amazon: A modeling case study. *Journal of Geophysical Research*, 114(D2), D02207. <https://doi.org/10.1029/2007JD009587>

Nölscher, A. C., Butler, T., Auld, J., Veres, P., Muñoz, A., Taraborrelli, D., Vereecken, L., Lelieveld, J., & Williams, J. (2014). Using total OH reactivity to assess isoprene photooxidation via measurement and model. *Atmospheric Environment*, 89, 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.024>

Observatório de Torre Alta. ATTO - Amazon Tall Tower Observatory. <https://www.attoproject.org/pt/por-atto/por-atto/>

Oliveira, P. H. F., Artaxo, P., Pires, C., De Lucca, S., Procópio, A., Holben, B., Schafer, J., Cardoso, L. F., Wofsy, S. C., & Rocha, H. R. (2007). The effects of biomass burning aerosols and clouds on the CO₂ flux in Amazonia. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 59(3), 338–349. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2007.00270.x>

Pacifico, F., Folberth, G. A., Sitch, S., Haywood, J. M., Rizzo, L. V., Malavelle, F. F., & Artaxo, P. (2015). Biomass burning related ozone damage on vegetation over the Amazon forest: A model sensitivity study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(5), 2791–2804. <https://doi.org/10.5194/acp-15-2791-2015>

Pöschl, U., Martin, S. T., Sinha, B., Chen, Q., Gunthe, S. S., Huffman, J. A., Borrmann, S., Farmer, D. K., Garland, R. M., Helas, G., Jimenez, J. L., King, S. M., Manzi, A., Mikhailov, E., Pauliquevis, T., Petters, M. D., Prenni, A. J., Roldin, P., Rose, D., & Andreae, M. O. (2010). Rainforest Aerosols as Biogenic Nuclei of Clouds and Precipitation in the Amazon. *Science*, 329(5998), 1513–1516. <https://doi.org/10.1126/science.1191056>

Rap, A., Spracklen, D. V., Mercado, L., Reddington, C. L., Haywood, J. M., Ellis, R. J., Phillips, O. L., Artaxo, P., Bonal, D., Restrepo Coupe, N., & Butt, N. (2015). Fires increase Amazon forest productivity through increases in diffuse radiation. *Geophysical Research Letters*, 42(11), 4654–4662. <https://doi.org/10.1002/2015GL063719>

Rizzo, L. V., Artaxo, P., Müller, T., Wiedensohler, A., Paixão, M., Cirino, G. G., Arana, A., Swietlicki, E., Roldin, P., Fors, E. O., Wiedemann, K. T., Leal, L. S. M., & Kulmala, M. (2013). Long term measurements of aerosol optical properties at a primary forest site in Amazonia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(5), 2391–2413. <https://doi.org/10.5194/acp-13-2391-2013>

Roberts, G. C., Andreae, M. O., Zhou, J., & Artaxo, P. (2001). Cloud condensation nuclei in the Amazon Basin: “Marine” conditions over a continent? *Geophysical Research Letters*, 28(14), 2807–2810. <https://doi.org/10.1029/2000GL012585>

Schafer, J. S. (2002). Atmospheric effects on insolation in the Brazilian Amazon: Observed modification of solar radiation by clouds and smoke and derived single scattering albedo of fire aerosols. *Journal of Geophysical Research*, 107(D20), 8074. <https://doi.org/10.1029/2001JD000428>

Sena, E. T., Artaxo, P., & Correia, A. L. (2013). Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosols and the effects of land use change in Amazonia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(3), 1261–1275. <https://doi.org/10.5194/acp-13-1261-2013>

Taraborrelli, D., Lawrence, M. G., Crowley, J. N., Dillon, T. J., Gromov, S., Groß, C. B. M., Vereecken, L., & Lelieveld, J. (2012). Hydroxyl radical buffered by isoprene oxidation over tropical forests. *Nature Geoscience*, 5(3), 190–193. <https://doi.org/10.1038/ngeo1405>

Vendrasco, E. P., Silva Dias, P. L., & Freitas, E. D. (2009). A case study of the direct radiative effect of biomass burning aerosols on precipitation in the Eastern Amazon. *Atmospheric Research*, 94(3), 409–421. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.06.016>

Williams, E. (2002). Contrasting convective regimes over the Amazon: Implications for cloud electrification. *Journal of Geophysical Research*, 107(D20), 8082. <https://doi.org/10.1029/2001JD000380>