

EFEITO DA DEPOSIÇÃO ÁCIDA EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS

Fernanda Dias dos Santos*¹, Roberta Aparecida Fantinel², Elenice Broetto Weiler², Jussara Cabral Cruz¹

¹Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, 97105900, Santa Maria, RS, Brasil.

²Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 97105900, Santa Maria, RS, Brasil

*E-mail: fernandadiotti@hotmail.com

Recebido em: 11/07/2020

Aceito em: 27/12/2020

DOI: 10.17058/tecnolog.v25i1.15445

RESUMO

O presente trabalho traz uma revisão bibliográfica acerca dos aspectos relacionados à chuva ácida e a relação desta com os ecossistemas florestais. As florestas, sejam plantadas ou nativas, atuam como filtros nos ecossistemas, onde a estrutura, tanto parte aérea quanto raízes, agem como reguladores das condições hidroclimáticas. Contudo, a destruição das florestas está acarretando um desequilíbrio nos ecossistemas, onde as atividades antrópicas estão sendo cada vez mais acentuadas devido ao desenvolvimento agrícola e industrial. Aliado a este desenvolvimento está o lançamento de gases na atmosfera, responsáveis pela chuva ácida. Os efeitos decorrentes desta deposição ácida são graves, podendo infiltrar no solo, destruindo a microfauna e até mesmo extinguir florestas na sua totalidade, por interferir no processo de fotossíntese. Ressalta-se a importância de abordagens amplas acerca do tema, bem como a incorporação de novos estudos.

Palavras-chave: Ecossistemas Florestais. Deposição ácida. Emissão de gases de efeito estufa.

1 Introdução

O termo chuva ácida surgiu no século XIX, onde foram observados que os efeitos da queima de carvão, decomposição de matéria orgânica, direção dos ventos, proximidade do mar, quantidade e frequência de chuva influenciavam na composição

química da precipitação. O equilíbrio entre água pura e dióxido de carbono (CO₂) atmosférico caracteriza a acidez das águas da chuva [1].

Durante muitos anos observaram-se os efeitos causados pela precipitação, relacionados com os poluentes lançados na

atmosfera em decorrência das ações antrópicas. Em 1939 detectou-se ácido hidro clorídrico na água da chuva, em áreas próximas ao vulcão Vesúvio, sendo esta a fonte da acidez natural [2].

Em sentido mais abrangente, a chuva ácida pode ser traduzida como a devolução dos poluentes que o homem lança sobre a superfície terrestre. Os componentes da água de chuva variam de uma região para outra e está relacionada com os locais de origem das massas de ar e a gênese da chuva [3].

Segundo [4], chuva ácida é aquela em que o pH é menor que 5.65, sendo essa acidez diretamente associada a poluição do ar, onde as gotas da chuva vêm misturadas com água oxigenada e ácidos sulfúrico, nítrico, acético e fórmico, além de sulfato e nitrato de amônia. Tais ácidos que caem sobre qualquer região do planeta são responsáveis pela destruição de metais, monumentos públicos, morte de plantas e destruição de florestas, afetando também a saúde humana.

O evento de destruição de florestas foi notado pela primeira vez, em larga escala, na Alemanha, onde florestas em elevadas altitudes são as mais atingidas pela precipitação ácida, possivelmente por estarem expostas à base de nuvens baixas, onde a concentração da acidez é maior [5].

2 Desenvolvimento

As florestas desempenham papel fundamental no planeta. Trata-se de um ambiente autor/regulador das condições hidroclimáticas, da estabilidade dos solos e de encostas, ressaltando o papel do sistema radicular, onde servem como suporte de sustentação para pequenas e grandes árvores, conferindo segurança para as encostas [6], além de trazer muitos outros benefícios, como a produção de celulose [7].

A destruição das florestas ocasiona grandes mudanças nos ecossistemas [8], visto da importância do seu papel, desde função ecológica [9] até mesmo suporte técnico para as regiões de montanha [10], onde as florestas formam um filtro atmosférico [11] e retêm quantidades significativas de partículas atmosféricas [12]. É importante proteger os maciços florestais [13], permitindo assim altas taxas de infiltração e estocagem de águas pluviais no solo, aumentando a alimentação perene das descargas fluviais básicas [14]. Na Figura 1, observam-se as funções ambientais de uma floresta preservada no Parque Nacional da Tijuca – RJ.

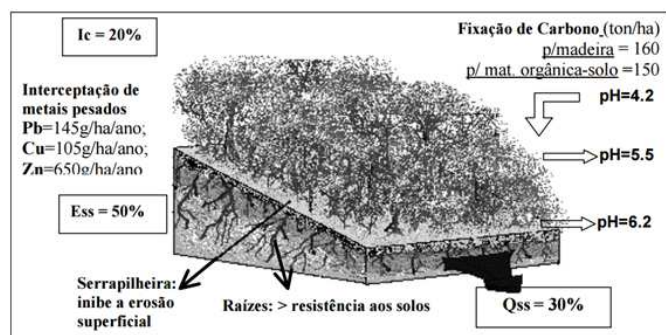


Figura 1 - Funções ambientais da floresta preservada (Estação Experimental do Rio Cachoeira / Parque Nacional da Tijuca). IC = Interceptação/copas arbóreas; Ess = estocagem/subsuperficial; Qss = carga subsuperficial para descarga fluvial. Fonte: [14].

A preocupação com a chuva ácida veio aliada às florestas [15], visto que foi observada falta de resiliência das mesmas frente ao problema [16-17]. Em 1975, aconteceu o primeiro Simpósio Internacional em Precipitação Ácida e o Ecossistema de Florestas (*Acid Rain Conference*), em Columbus (Ohio, EUA). O objetivo dessa reunião foi avaliar o conhecimento acumulado até aquele momento sobre acidez em precipitação e focar a atenção em seus efeitos ecológicos pelo mundo, servindo como fórum de encontro entre diferentes grupos para discussão da magnitude, extensão, natureza e consequências da precipitação ácida.

As influências da chuva ácida nos ecossistemas naturais são cada vez mais preocupantes do ponto de vista ambiental, vindo a ocasionar muitos efeitos nos ecossistemas, como a acidificação do solo [18], a redução de funcionamento das

comunidades microbianas [19], a diminuição das atividades enzimáticas [20] e a alteração da composição das espécies florestais [21].

Para que possamos compreender os efeitos causados pela precipitação ácida, precisamos entender como ela é formada, para assim, sabermos onde é a fonte do problema e minimizá-lo. A atmosfera é constituída por gases, componentes sólidos e líquidos em suspensão. Observou-se acentuado acréscimo da emissão de poluentes conexo ao crescimento industrial [22], ocasionando mudanças na composição química da atmosfera (Figura 2). Isso foi apontado como a causa da acidificação da água da chuva (chuva ácida) em vários locais [23-27]. Estudos apontam valores críticos para a acidez em águas da chuva em regiões com grande número de indústrias, onde foram constatados valores de pH menores que 4,5, chegando a 2 para eventos isolados em algumas regiões [28-30].

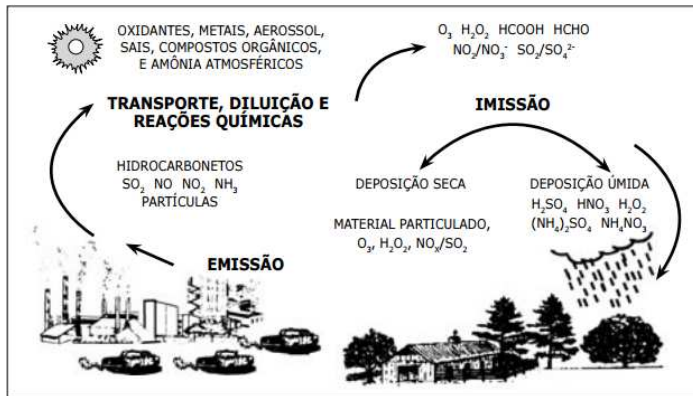


Figura 2 - Processos e compostos químicos atmosféricos envolvidos na formação da deposição ácida.

Fonte: [28].

Dentre as emissões de gases para a atmosfera, destacam-se os compostos carbonílicos [31] descritos na Tabela 1, que podem ser emitidos para a atmosfera a partir de uma grande variedade de fontes naturais e antropogênicas, e dentre as fontes naturais destaca-se a queima espontânea de florestas [32]; [33-34]. Estas emissões são importantes, mas difíceis de serem caracterizadas devido à grande variedade de plantas e as condições em que são queimadas [35]. Tais gases estão difundidos na atmosfera nas fases gasosa, líquida (neve, neblina, nuvem, entre outras) ou associados ao material particulado [36]; [37].

Tabela 1: Compostos carbonílicos emitidos pela vegetação e pela queima de florestas.

Classificação	Vegetação	Queima de florestas
Alifáticos	Formaldeído, acetaldeído, propanal, n-butanal, isobutanal, n-pentanal, heptanal, octanal, nonanal, decanal, undecanal, tetradecanal	Formaldeído, acetaldeído, propanal, n-butanal, isobutanal
Olefínicos	Hexenal 2, trans-2-hexenal, 3,7-dimetil-2,6-octadienal, 3,7-dimetil-6-octenal, 4-hidroxi-3,7-dimetil-6-octenal, 2,6-nonadienal	acroleína
Aromáticos	Benzaldeído, cuminaldeído, dihidroxicuminaldeído, fenilpropanal, cinamaldeído, p-hidroxibenzaldeído, anisaldeído, o-metoxicinamaldeído, piperonal, vanilina, veratraldeído, coniferaldeído, evermiceraldeído	Vanilina, coniferaldeído, siringaldeído, sinapaldeído
Cíclicos	Furfural, safranal	Furfural, 5-metilfurfural

Fonte: De Andrade et al. (2002).

Para caracterizar quimicamente a precipitação atmosférica, prioriza-se as medidas de pH e condutividade, seguindo-se da determinação de SO_4^{2-} e NO_3^- , sendo que pesquisas mais detalhadas abrangem, em geral, Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e

Mg^{2+} e, eventualmente, metais pesados e espécies orgânicas como ácidos carboxílicos [38,24,39,28]. A Tabela 2 apresenta os dados comparativos entre valores médios de pH e algumas espécies iônicas em diferentes regiões do Brasil [1].

Tabela 2: Comparação entre valores médios de pH e concentrações médias ponderadas pelo volume ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de algumas espécies iônicas presentes em águas de chuva para diferentes regiões do Brasil.

Local	Vila Parisi Cubatão (SP)	São Paulo (SP)	Amazônia Central (AM)	Rio de Janeiro (RJ)	Belo Horizonte (MG)	Piracicaba (SP)	São Paulo (SP)	Figueira (PR)	Candiota (RS)	Ilha Grande (RJ)
Data	4/1984- 10/1985	10/1983- 10/1985	10/1988- 6/1990	9/1988- 8/1989	10/1993- 2/1994	8/1997- 7/1998	7/2002- 2/2003	6/1999- 6/2000	1-6/2001	3-9/2002
pH	> 5,5	5,0	4,7	4,77	5,15	4,5	4,99	5,0	5,33	5,05
Cl^-	172	16,6	4,6	66,6	-	6,0	8,54	16	7,57	178,2
NO_3^-	70,6	30,0	4,2	15,8	12,0	13,8	21,2	13	5,22	12,0
SO_4^{2-}	250	24,0	1,0	20,6	12,6	7,4	12,4	35	7,3	17,4
Na^+	84,8	10,0	2,4	62,6	-	2,1	15,0	35	5,27	142,2
Ca^{2+}	346	20,0	1,2	15,1	22,0	2,1	5,33	16	4,42	4,6
NH_4^+	93,5	37,8	3,0	18,8	18,1	11,6	37,6	30	5,81	9,9
Refer.	[40]	[41]	[42]	[43]	[44]	[45]	[46]	[47]	[48]	[49]

Fonte: [24].

Ainda que existam processos naturais que contribuem para a acidificação das deposições [50-51], sobretudo os gases difundidos na atmosfera por vulcões, os gases derivados de queimadas e os gerados por processos biológicos, as ações antrópicas são as predominantes [52]. O fenômeno da chuva ácida

é, sobretudo, local, pois a composição da chuva depende dos poluentes lançados no mesmo lugar [53]. Por vezes, as nuvens poluídas se deslocam, regando áreas mais afastadas com sua água ácida [54].

No Brasil, a preocupação com a chuva ácida vai além dos grandes centros industriais, onde a situação é agravada pelas atividades desenvolvidas [55-56]: na região de Cubatão-SP a chuva ácida é responsável pela devastação de florestas, havendo diminuição da produção de florestas primárias [53], causando degradação florística, poluição dos rios e lagos [57]. Além disso, a infiltração desta água ácida no solo libera metais tóxicos, como alumínio, chumbo e cádmio, visto que ocorre a suspensão desses metais, o que torna o recurso natural nocivo ao ser introduzido posteriormente na cadeia alimentar [58].

Ao atingir ecossistemas florestais, a chuva ácida altera a ciclagem de nutrientes, tendo influência no estado nutricional das plantas [59]. Em regiões tropicais, onde geralmente o solo é ácido e pobre em nutrientes devido sua volatilização e percolação para camadas inferiores do solo, supõe-se que, os efeitos provenientes da poluição aérea sejam mais intensos, provocando sérias alterações no balanço nutricional das plantas [60].

A composição e a estrutura da atmosfera amazônica estão passando por mudanças significativas devido a alterações no uso de solo em algumas áreas [61]. Alterações na concentração de partículas de aerossóis e na concentração de gases acontecem como efeito de eventos de queimadas [62-63], sendo que tais alterações ocorrem em escala local e até milhares de quilômetros longe das regiões emissoras [64]. O ciclo hidrológico pode estar

se transformando em decorrência da emissão de altas quantidades de partículas que atuam como núcleos de condensação de nuvens, e propriedades microfísicas de nuvens estão sendo alteradas, vindo a alterar também o padrão de precipitação da região [65]. Os eventos de nuvens altas, e a supressão da formação de nuvens rasas está incidindo em algumas áreas [66].

As alterações de uso de solo também comprometem as emissões de gases biogênicos que atuam nos processos de desenvolvimento de partículas e nuvens [67]. Alterações no balanço radiativo atmosférico podem estar afetando a absorção de carbono pelo ecossistema [68], com mudança na produtividade primária de florestas em largas áreas [69]. O conjunto destas alterações em processos atmosféricos decisivos para a saúde do ecossistema adverte que mudanças de uso de solo vão além da troca de floresta por áreas de pastagem e cultivo, mas marcam mudanças ambientais mais profundas com efeitos no ecossistema amazônico e como consequência, no clima de outras regiões do Brasil [62,70-71].

Sérios problemas podem ser observados em florestas devido à chuva ácida. Estragos em florestas de *Pinus* sp. na Europa foram relacionados à falta de macro nutrientes, tais como magnésio, potássio e cálcio, nas acículas, em razão ao empobrecimento de cátions básicos disponíveis no solo, agravado pela acidificação do solo por meio da chuva ácida [72].

Estudo realizado por [73], analisando a água da chuva no Parque Nacional de Itatiaia-RJ, indicaram que a oxidação de dióxido de enxofre (SO₂) ocasionou a maior parte de tetra óxido de enxofre (SO₄) presente na água da chuva e que, portanto, pode ter exercido um papel fundamental na determinação da acidez da água da chuva. Logo, é possível associar uma maior desfolhação de árvores com uma maior abundância de SO₂ na precipitação.

Em estudo realizado por [74], a aspersão de chuva ácida (pH= 3,0) sobre a espécie *Eugenia uniflora* L. ocasionou várias manchas necróticas, diferindo estatisticamente do tratamento controle (pH= 6,5), em contraste a *Clusia hilariana* Schldl., onde foram observadas poucas manchas necróticas. *C. hilariana* e *E. uniflora* são espécies dominantes da restinga, local no qual foram coletadas as sementes para germinação e posterior obtenção de mudas a serem submetidas a aplicação dos tratamentos com chuva ácida.

Lesões foliares foram observadas em plantações de *Eucalyptus* sp. próximas de uma fábrica de “pelotização” de ferro, sugerindo que a emissão de poluentes como ácido sulfúrico (H₂SO₄) está afetando parte da vegetação próxima e também pode atingir as plantas juvenis das espécies [75].

Em estudo realizado por [76], plântulas e mudas das espécies *Gallesia gorazema* Moq. (Phytolaccaceae), *Genipa americana* L. (Rubiaceae), *Joannesia princeps* Vell.

(Euphorbiaceae), *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (Fabaceae) e *Spondias dulcis* Forst. f. (Anacardiaceae), foram submetidas diariamente a 20 min de chuva com flúor (30 mg.L⁻¹) por 10 dias consecutivos. Observou-se necroses apicais e marginais nas folhas de todas as espécies logo após a primeira chuva simulada. *S. dulcis*, no estágio de muda, foi a espécie mais sensível ao flúor, pois apresentou extensas necroses com apenas dois dias de tratamento, enquanto *G. americana* foi a espécie mais resistente. De acordo com [74], a sensibilidade ao flúor observada em *S. dulcis* indica que essa espécie apresenta potencial para ser usada como bioindicadora da qualidade.

[77] observou que folhas de *Pinus densiflora* Sieb. expostas a um tratamento simulando chuva ácida, apresentaram acréscimo no teor de clorofila, porém, houve redução na taxa de fotossíntese líquida, indicando redução da eficiência de uso do pigmento na fotossíntese. Assim, conclui-se que, em plantas expostas a óxidos de nitrogênio, podem ocorrer acréscimo da concentração de clorofila sem que isso provoque aumento na assimilação do carbono.

Em estudo realizado por [78] na Floresta Nacional de São Francisco de Paula-RS, local distante de centros industriais, avaliou-se a precipitação pluvial e a concentração de nutrientes minerais na água de chuva e na água de gotejamento no interior da floresta, onde se verificou que a concentração de nutrientes

minerais, assim como os índices de pH e de condutividade elétrica da água da precipitação interna, foram alteradas em consequência da interação da água de precipitação com as espécies que compõem a floresta avaliada. Os elementos minerais contidos na água da chuva podem ser oriundos do continente, do mar, das atividades industriais, de mineração ou agropastoris, destacando-se o potássio, o cálcio, o fósforo e o enxofre. Já o sódio e o magnésio têm procedência marinha. O zinco e compostos de nitrogênio e de enxofre têm origem antropogênica. A concentração de íons é estimada pela sua diferença na precipitação externa e precipitação interna. As florestas apresentam elevada capacidade de conservação de nutrientes, pois importam e concentram em seu interior estoques consideráveis, seja na biomassa, nos resíduos ou incorporados em profundidades variáveis no solo.

4 Conclusões

Diversos trabalhos estão sendo realizados sobre a temática: deposição ácida e os efeitos sobre os ecossistemas florestais. No entanto, em função de especificidade dos estudos, os resultados não podem ser extrapolados ou generalizados para os demais ambientes, visto da complexidade das causas e dos ecossistemas.

Estudos apontam os efeitos causados por esta deposição e a gravidade dos impactos que causam, sendo que o tema ainda demanda estudos aprofundados. As áreas industrializadas são as

principais causadoras da chuva ácida, porém, não somente nestas áreas se observam os efeitos, visto do longo alcance destes gases.

A alteração de ecossistemas é um dos efeitos mais graves da precipitação ácida, sendo que em muitos casos ocorre a destruição da fauna e da flora.

EFFECT OF ACID DEPOSITION ON FOREST

ECOSYSTEMS

ABSTRACT: The present work brings a bibliographic review about the aspects related to acid rain and its relation with forest ecosystems. Forests, whether planted or native, act as “filters” in ecosystems, where the structure, both aerial and root, act as regulators of hydroclimatic conditions. However, the destruction of forests is causing an imbalance in ecosystems, where human activities are being increasingly accentuated due to industrial development. Allied to this development is the release of gases into the atmosphere, responsible for acid rain. The effects resulting from this acid deposition are serious, and may infiltrate the soil, destroying the microfauna and even extinguishing forests in their entirety, as it interferes with the process of photosynthesis. The importance of broad approaches on the topic is emphasized, as well as the incorporation of new studies.

Keywords: Forest Ecosystems. Acid Deposition. Greenhouse Gas Emissions.

Referências

- [1] FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil? Revista USP, n. 70, p. 78-87, 2006.
- [2] COWLING, E. B. Acid precipitation in historical perspective. Environ. Sci. Technol. V. 16, n.2 p. 110A-123A, 1982.
- [3] EATON, J. S.; LIKENS, G. E. & BURMANN, H. Throughfall and stemflow chemistry in a Northern Hardwood Forest. The Journal of Ecology v. 6, p. 65 – 77, 1973.
- [4] DE JESUS, E. F. R. A importância do estudo das chuvas ácidas no contexto da abordagem climatológica. Sitientibus. Feira de Santana, n. 14, p. 143-153, 1996.
- [5] MARTINS, C. R; ANDRADE, J. B. de. Química atmosférica do enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. Química Nova, v. 25, p. 259- 272, 2002.
- [6] BALBINOT, R.; DE OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALÉRIO, Á. F. The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. Ambiência, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.
- [7] MORAN, E. F. Meio ambiente & florestas. Senac, 2017.
- [8] FEARNSIDE, P. M. A floresta amazônica nas mudanças globais. Editora INPA, 2009.
- [9] ELIAS, R. B.; DIAS, E. Ecologia das florestas de Juniperus dos Açores. Cadernos de Botânica, n. 5, 2007.
- [10] DOSSIER, I.; DOSSIER, I. I. Desenvolvimento Local e Pastoreio Extensivo na Montanha. Continente, 2020.
- [11] VAZ, M. Evidência de um filtro ecológico: atributos funcionais convergem na capoeira e divergem na floresta primária. Livro do curso de campo “Ecologia da Floresta Amazônica”(PEC Peixoto & G. Machado, eds.). PDBFF/INPA, Manaus, 2009.
- [12] MENDONÇA, T. B.; SATO, L. M.; OGASSAWARA, R. N.; TEIXEIRA, L. R.; ARAGÃO, G. L.; DO SANTOS, G. M.; MENEZES, C. A. S. Desenvolvimento de um método para análise de partículas de precipitação seca em ambiente atmosférico. Atas de Saúde Ambiental-ASA (ISSN 2357-7614), v. 7, n. 1, p. 16, 2019.
- [13] DEVY-VARETA, N. Para uma geografia histórica da floresta portuguesa: do declínio das matas medievais à política florestal do Renascimento (séc. XV e XVI). Revista da Faculdade de Letras: Geografia, I série, vol. 2, 1986, p. 5-40, 2013.
- [14] NETTO, A. L. C. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. Revista do Departamento de Geografia, v. 16, p. 46-60, 2011.
- [15] DE PASSOS, P. N. C. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. Revista Direitos Fundamentais & Democracia, v. 6, 2009.
- [16] SOUZA, R. C. DE. Fluxos de gases de efeito estufa [GEE] em florestas urbanas de São Paulo, SP: uma análise da contribuição das áreas verdes na resiliência da cidade. 2019.
- [17] MULER, A. E. Avaliação de uma Floresta Atlântica urbana em restauração: da ecologia às questões sociais. Tese de Doutorado. Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, RJ. 2014.

- [18] LIAO, B. H., GUO, Z. H., ZENG, Q. R., PROBST, A., PROBST, J. L. Effects of acid rain on competitive releases of Cd, Cu, and Zn from two natural soils and two contaminated soils in Hunan, China. *Water Air Soil Pollut. Focus* 7, 151–161. 2007.
- [19] KUPERMAN, R. G., EDWARDS, C. A. Effects of acidic deposition on soil invertebrates and microorganisms. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 148, 35–137. 1997.
- [20] JAGELS, R., JIANG, M., MARDEN, S., CARLISLE, J. Red spruce canopy response to acid fog exposure. *Atmos. Res.* 64, 169–178. 2002.
- [21] SCHABERG, P. G., DEHAYES, D. H., HAWLEY, G. J. Anthropogenic calcium depletion: a unique threat to forest ecosystem health? *Ecosystem Health* 7, 214–228. 2001.
- [22] IPCC. *Climate Change 2014 - Synthesis Report. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva, Switzerland, 151 pp: [s.n.], 2014.
- [23] MIGLIAVACCA, D.; TEIXEIRA, E.C.; PIRES, M.; FACHEL, J. Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil. *Atmospheric Environment*, v.38, p.1641-1656, 2004.
- [24] FORNARO, A.; GUTZ, I. G. R. Wet Deposition and Related Atmospheric Chemistry in the São Paulo Metropolis, Brazil: Part 2, Contribution of Formic and Acetic Acids. in *Atmospheric Environment* 37, 2003, p. 117- 28.
- [25] HUANG, Y. L.; WANG, Y. L.; ZHANG, L. P. Long-term trend of chemical composition of wet atmospheric precipitation during 1986–2006 at Shenzhen City, China. *Atmospheric Environment*, v.42, p.3740-3750, 2008.
- [26] ZHANG, Y.; WU, S. Y.; KRISHNAN, S.; WANG, K.; QUEEN, A.; ANEJA, V.P.; ARYA, S.P. Modeling agricultural air quality: current status, major challenges, and outlook. *Atmospheric Environment*. v.42, p.3218-3237, 2008.
- [27] FIA, R.; FRIZZARIM, S. S.; FIA, F. R. L. Análise Qualitativa de Poluentes na Água das Chuvas em Lavras-MG. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 2, p. 269-278, 2013.
- [28] FORNARO, A. *Chuva Ácida em São Paulo: Caracterização Química de Amostras Integradas e Sequenciais de Deposição Úmida.* Dissertação de mestrado. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Química, 1991.
- [29] GUIMARÃES, C. E.; TEIXEIRA, C. E.; DOS SANTOS, M. R. Avaliação do desempenho ambiental do aproveitamento do Biogás em indústrias processadoras de mandioca por meio de Indicadores GRI. XVI ENGEMA, São Paulo, p. 1-3, 2014.
- [30] SOUZA, G.; SILVA, R.; OLIVEIRA JUNIOR, J. M.; MENDONÇA, N. *Chuva Ácida: Estudo de Caso Na Região Metropolitana de Belém/PA.* V Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia, v. 4, 2016.
- [31] DE ANDRADE, M. V. A. S. PINHEIRO, H. L. C., DE PEREIRA, P. A., DE ANDRADE, J. B.. Compostos carbonílicos atmosféricos: fontes, reatividade níveis de concentração e efeitos toxicológicos. *Química Nova*, v. 25, n. 6/B, p. 1117-1131, 2002.
- [32] CORRÊA, S. M.; SOUZA, C. V. D.; SODRÉ, E. D.; TEIXEIRA, J. R. Volatile organic compound emissions from a landfill, plume dispersion and the tropospheric ozone modeling. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 3, p. 496-504, 2012.

- [33] DA SILVA, C. M.; DA SILVA, L. L.; CORREA, S. M.; ARBILLA, G. Speciation Analysis of Ozone Precursor Volatile Organic Compounds in the Air Basins of the Rio de Janeiro Metropolitan Area. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 5, p. 1887-1909, 2017.
- [34] TSURUTA, F.; CARVALHO, N. J. D.; SILVA, C. M. D.; ARBILLA, G. Air quality indexes in the city of Rio de Janeiro during the 2016 Olympic and Paralympic Games. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 29, n. 6, p. 1291-1303, 2018.
- [35] ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; JUNIOR, C. P.; CORREIA, A. L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, p. 1-22, 2006.
- [36] VOGT, G. *The Atmosphere: Planetary Heat Engine*. Twenty-First Century Books, 2007.
- [37] MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. Oficina de textos, 2017.
- [38] BARRIONUEVO, S.; NASCIMENTO, R. S. H.; MACHADO, A. C. M.; PIRES, M. Caracterização química da precipitação atmosférica por cromatografia iônica. *Estudos ambientais em Candiota: carvão e seus impactos*, first ed. FINEP/PADCT/CIAMB/FABERGS/FEPAM, Porto Alegre, p. 193-200, 2004.
- [39] MARI, V. M.; MIGLIAVACCA, D. *Caracterização química da precipitação atmosférica*. Salão de iniciação Científica (12.: 2000: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- [40] MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; DANELON, O. M.; FORTI, M. C.; SANTO, C. M. E.; SARDELA, D. D.; LOPES, J. C.; FILHO, B. M.; ABBAS, M. M. *Caracterização Química das Águas de Chuva de Cubatão*. Relatório Final. INPE-3695- RPE/515, 1986.
- [41] FORTI, M. C.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; Andrade, M. F.; ORSINI, C. Q. Elements in the Precipitation of S. Paulo city (Brazil). *Atmospheric Environment*. p. 355-60. 1990.
- [42] WILLIAMS, M. R.; FISHER, T. R. & MELACK, J. M. Chemical Composition and Deposition of Rain in the Central Amazon, Brazil. *Atmospheric Environment*. p. 207-17. 1997.
- [43] MELLO, W. Z. de. Precipitation Chemistry in the Coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Pollution*. p. 235-42. 2001.
- [44] FIGUEREDO, D. V. Influence of Calcareous Soil Particulates on Acid Rain: Belo Horizonte Metropolitan Region, Brazil. *Ambio* 28(6), p. 514-8. 1999.
- [45] LARA, L. B. L. S.; ATAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; KRUSCHE, A.; AYERS, G. P.; FERRAZ, E. S. B.; BALLESTER, M. V. "Chemical Composition of Rainwater and Anthropogenic Influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil", in *Atmospheric Environment* 35 p. 4937-4945. 2001.
- [46] LEAL, T. F. M.; FONTENELE, A. P. G.; PEDROTTI, J. J.; FORNARO, A. "Composição Iônica Majoritária de Águas de Chuva na Região Central de São Paulo", in *Química Nova* 27(6), p. 855-61. 2004.
- [47] FLUES, M.; HAMA, P.; LEMES, M. J. L.; DANTAS, E. S. K.; FORNARO, A. Evaluation of the Rainwater Acidity of a Rural Region Due to a Coal Fired Power Plant in Brazil. *Atmospheric Environment*. p. 2397-2404. 2002.
- [48] MIGLIAVACCA, D. M.; TEIXEIRA, E. C.; MACHADO, A. C. M.; PIRES, M. R. *Composição Química da Precipitação Atmosférica no Sul do Brasil – Estudo Preliminar*. *Química Nova*. p. 371-9. 2005.
- [49] SOUZA, P. A.; MELLO, W. Z. de; MALDONADO, J.; EVANGELISTA, H. *Composição Química da Chuva e Aporte Atmosférico na Ilha Grande, RJ*. *Química Nova*. p. 471-6. 2006.

- [50] JUNIOR, M. A. P. O processo de deposição ácida no município de São Carlos do Ivaí-PR. Revista Técnico-Científica, v. 1, n. 2, 2014.
- [51] CUNHA, G. R. D.; SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; PIRES, J. L. F.; PASINATO, A. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 44, n. 4, p. 339-346, 2009.
- [52] DE LIMA, E. J. T.; FERREIRA, L. H. Os gases estufa nos livros didáticos. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, n. Extra, p. 984-989, 2013.
- [53] FRANCISCO, R. H. P. Meio ambiente e chuva ácida. Revista Eletrônica de Ciências, Artigo USP-Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo. <http://www.cdcc.sc.usp/br/ciencia/artigo/art15/chuvaacida.html>. Zugriffen, v. 12, 2004.
- [54] LINS, E. A. M.; PAIVA, S. C.; SILVA, L. R. A.; BARBOSA, A. C. A.; SANTOS, A. K. C.; DE SOUZA FERREIRA, J. Investigação da qualidade da água escoada predial derivada das precipita es pluviométricas na região metropolitana do Recife/Research on the quality of predial drain water derived from pluviometric precipitations in the metropolitan Recife region. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 1, p. 2478-2488, 2020.
- [55] NASCIMENTO, L. F. Gestão ambiental e sustentabilidade. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administra o-UFSC: CAPES, UAB [Brasília], 2012.
- [56] DIAS, G. F. Atividades interdisciplinares de educa o ambiental. Global Editora e Distribuidora Ltda, 2015.
- [57] POMPÉIA, S. L. Sucessão secundária da Mata Atlântica em áreas afetadas pela polui o atmosférica de Cubatão, SP. 193 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- [58] HAMA, P. Estudo da influência da chuva ácida na concentra o de alumínio em solos próximos a uma termoeletrica a carvão. 2014.
- [59] ESPOSITO, J. B. N. Influência do MnDFB na tolerância ao estresse oxidativo em plantas de *Glycine max* expostas ao ozônio e chuva ácida. Tese de Doutorado. Instituto de Botânica. 2012.
- [60] LOPES, M. I M. S. Fluxo de água, balanço químico e altera es no solo da Floresta Atlântica atingida pela polui o aérea de Cubatão, SP, Brasil. 2001. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- [61] LARA, L. L., PAULIQUEVIS, T. M., PROCÓPIO, A. S.; RIZZO, L. V. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composi o da atmosfera amazônica. Acta Amazônica. VOL. 35(2) 2005: 185 – 196. 2005.
- [62] ARTAXO, P.; DIAS, M. A. F. D. S.; NAGY, L.; LUIZÃO, F. J.; CUNHA, H. B. D.; QUESADA, C. A.; KRUSCHE, A. Perspectivas de pesquisas na rela o entre clima e o funcionamento da floresta Amazônica. Ciência e Cultura, v. 66, n. 3, p. 41-46, 2014.
- [63] FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F.; DIAS, P. L. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. Estudos Avançados, v. 19, n. 53, p. 167-185, 2005.
- [64] BAUMGARTNER, D.; GOBIET, A.; MAYER, M.; MADERBACHER, R.; PIETSCH, H.; PUTZ, E. Improving the air pollution monitoring system in Graz, Austria by additional DOAS measurements. WIT Transactions on Ecology and the Environment, v. 36, 1999.
- [65] DEBORTOLI, N. Régime des pluies et d forestation en Amazonie M ridionale. Tese de Doutorado. Universit  Rennes 2. 2013.

- [66] SARAIVA, I. 2016. 146 f. Variabilidade Regional das Nuvens de Chuva na Bacia Amazônica visto por uma Rede de Radars Meteorológicos. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 2016.
- [67] TOLEDO, A. L. L. 2019. 148 f. Emissões de gases de efeito estufa da mobilidade urbana: o caso de Natal. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2019.
- [68] VELOSO, G. A. 2018. 151 f. Produtividade primária bruta e biomassa em pastagem no bioma cerrado: uma análise a partir dos modelos SEBAL/CASA e MOD17 no Estado de Goiás. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Goiás. 2018.
- [69] OLIVEIRA, L. J. C. Cenários futuros para a Amazônia: interações entre o desmatamento, as mudanças climáticas, o ecossistema natural e os sistemas agrícolas. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2012.
- [70] MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, v. 1, 2011.
- [71] MARENGO, J.; NOBRE, C. A.; BETTS, R. A.; COX, P. M.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Aquecimento Global e Mudança Climática na Amazônia: Retroalimentação Clima-Vegetação e Impactos nos Recursos Hídricos. Geophysical Monograph Series, v. 186, p. 1-24, 2010.
- [72] WANG, Y.; SOLBERG, S.; YU, P.; MYKING, T.; VOGT, R. D. E.; DU, S. Assessments of tree crown condition of two Masson pine forests in the acid rain region in south China. Forest Ecology and Management. v. 242, p. 530-540, 2007.
- [73] MELLO, W. Z. de; ALMEIDA, M. D. de. Rainwater chemistry at the summit and southern flank of the Itatiaia massif, Southeastern Brazil. Environmental Pollution, v. 129, p. 63-68, 2004.
- [74] CALLEGARO, R. M.; ANDRZEJEWSKI, C.; GOMES, D. R.; TURCHETTO, F.; MEZZOMO, J. C.; GRIEBELER, A. Efeitos da chuva ácida em recursos florestais. Caderno de Pesquisa, v. 27, n. 3, p. 13-20, 2015.
- [75] SILVA, L. C. da. et al. Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura foliar e o crescimento de plantas arbóreas. Revista Brasileira de Botânica, v. 23, p. 385-393, 2000.
- [76] SILVA, L. C.; OLIVA, M. A.; AZEVEDO, A. A.; ARAÚJO, J. M.; AGUIAR, R. M. Micromorphological and anatomical alterations caused by simulated acid rain in restinga plants: *Eugenia uniflora* and *Clusia hilariana*. Water, Air and Soil Pollution, v. 168, p. 129-143, 2005.
- [77] SHAN, Y. 1998. Effects of simulated acid rain on *Pinus densiflora*: inhibition of net photosynthesis by the pheophytization of chlorophyll. Water, Air and Soil Pollution 103:121-127.
- [78] BACKES, A. Precipitação pluviométrica e concentração de nutrientes minerais na água de chuva na região da floresta nacional de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisas Botânicas, n. 58, p. 331-346, 2007.