

Deposição atmosférica e estoque de nitrogênio em remanescente de Floresta Atlântica inserido na cidade de São Paulo

Milton Augusto Gonçalves Pereira⁽¹⁾, Giovanna Boccuzzi⁽²⁾, Marcia Inês Martins Silveira Lopes⁽³⁾ & Marisa Domingos⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidade Nove de Julho, Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Instituto de Botânica, São Paulo, SP, ⁽²⁾ Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Instituto de Botânica, São Paulo, SP & ⁽³⁾ Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Instituto de Botânica, São Paulo, SP. E-mail para contato: milton.augustogp@gmail.com

Resumo: A deposição atmosférica de N-NH_4^+ e N-NO_3^- foi monitorada em clareira e sob o dossel de um remanescente de Floresta Atlântica no Instituto de Botânica/SP, a partir de coleta de material particulado total e eventos de chuva. Foi analisado, ainda, o estoque de N e P totais, N-NH_4^+ e N-NO_3^- em folhas de 3 espécies arbóreas pioneiras e 3 não pioneiras. Alterações nutricionais na floresta foram inferidas a partir da razão N/P nas amostras foliares. As amostragens ocorreram no período seco de 2014. O pH da água de chuva foi, em média, 5,4 em clareira e 6,5 sob dossel. Os níveis médios de N-NO_3^- na chuva em clareira (4,6 mg/kg) e sob dossel (10,6 mg/kg) foram mais altos do que os de $\text{NH}_4\text{-N}$ (clareira: 1,2 mg/kg; dossel: 1,7 mg/kg). A deposição seca coletada no auge do período seco (agosto/2014) apresentou a maior condutividade (clareira: 231 $\mu\text{s/cm}$; dossel: 238 $\mu\text{s/cm}$), maior concentração de N-NO_3^- (clareira: 31,6 mg/kg; dossel: 16,2 mg/kg) e de N-NH_4 (clareira: 1,5 mg/kg; dossel: 1,8 mg/kg). A concentração foliar de N total nas espécies pioneiras e não pioneiras foi de $37,2 \times 10^3$ mg/kg e $27,6 \times 10^3$ mg/kg, respectivamente. Pequena proporção desse N estava nas formas de $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4$ (pioneiras: 196 mg/kg; não pioneiras: 117 mg/kg). O conteúdo foliar de P total foi $2,1 \times 10^3$ mg/kg nas espécies pioneiras e $1,1 \times 10^3$ mg/kg nas não pioneiras, resultando em razão N/P mais alta para as não pioneiras (25,7) do que para as pioneiras (19,3). Ambas as estimativas apontam para o excesso de N em relação a P e, assim, uma limitação da produtividade primária líquida por P.

Palavras-Chave: Nitrogênio, Floresta Atlântica, Poluição atmosférica.

INTRODUÇÃO

O ciclo do nitrogênio (N) é o segundo mais importante, após o de carbono, aos organismos vivos presentes nos ecossistemas naturais. N circula, como qualquer outro elemento químico, entre ar, água, solo e biota, sendo considerado um nutriente essencial ao crescimento vegetal, que é a base da sustentação das cadeias alimentares. Embora o N molecular ocorra em grandes proporções na atmosfera terrestre, esta forma inerte do elemento não pode ser aproveitada pelos organismos vivos. Estes o requerem na forma reativa, ligado a hidrogênio, oxigênio ou carbono, destacando-se, entre os quais, nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e amônia (NH_3).

A fixação desse nitrogênio pode ocorrer por descargas elétricas ou por bactérias (van den Berg & Ashmore 2008, Widdison & Burt 2008). Entretanto, na atualidade, as atividades humanas têm sido as que mais têm contribuído para a fixação global do N no sentido ecológico, suplantando a de origem natural e proporcionando um considerável aporte de N nos ecossistemas florestais.

Porém, espera-se que, a crescente deposição de N não resulte em aumento da produtividade, devido aos efeitos indiretos da acidificação e da baixa disponibilidade natural de fósforo (P) e de cátions para as espécies (Huang *et al.* 2012), como também foi destacado por Sardans *et al.* (2011, 2012).

Assim, os objetivos deste estudo foram: estimar a entrada de compostos N-NO_3^- e N-NH_4^+ no remanescente da Floresta Atlântica abrangido pelo

Parque Estadual das Fontes do Ipiranga exposto a poluentes aéreos emitidos na cidade de São Paulo; estimar o estoque de N na comunidade vegetal, por meio da determinação das concentrações de N e P totais e de N-NO_3^- e N-NH_4^+ em folhas de espécies arbóreas pioneiras e não pioneiras; inferir sobre possíveis alterações nutricionais no remanescente florestal a partir das estimativas da razão de concentração de N e P para as espécies arbóreas e deposição atmosférica.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostragens foram realizadas no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga/PEFI, que está situado na zona sul da cidade de São Paulo. O clima da região é denominado Cwb, de acordo com a classificação de Koeppen, que é caracterizado como clima temperado, com regime de chuvas de verão, inverno seco. Predominam no parque solos do tipo Latossolo Vermelho Amarelo (Fernandes *et al.* 2002). A vegetação do PEFI pertence ao domínio da Mata Atlântica e, mais especificamente, ao grupo das florestas estacionais semidecíduais de planalto, que estão entre os ecossistemas mais fragmentados e devastados do país. Além da fragmentação, a floresta do PEFI, está inserida na malha urbana da cidade de São Paulo, e tem sido afetada por poluentes atmosféricos de origem veicular (Domingos *et al.* 2002). As amostras de deposição atmosférica úmida e seca foram realizadas no inverno de 2014. As amostragens de material particulado total e de eventos de precipitação foram realizadas por dois coletores automáticos de deposição atmosférica seca e úmida modelo APS (*Atmospheric Precipitation Sampler*), um deles foi instalado em uma clareira e o outro sob o dossel da floresta. O coletor consiste de dois recipientes, sendo um exposto durante eventos de precipitação e o outro exposto à deposição seca. Um sensor detecta as primeiras gotas de chuva e ativa o motor que move a tampa do recipiente de coleta úmida e a transfere para o recipiente de coleta seca. O material seco foi diluído para se ter um substância aquosa, e junto com as amostras de água de chuva foi levado a laboratório para análises de pH, condutividade elétrica, e das concentrações de NO_3^- e NH_4^+ por cromatografia iônica.

Foram escolhidas três espécies arbóreas pioneiras e três não pioneiras conforme listagem apresentada na tabela 1. Folhas das seis espécies

também foram coletadas no inverno de 2014. Após as coletas, as folhas foram embaladas em saco de papel, levadas para o laboratório, secas em estufa sob 30-40°C, moídas em moinho de facas. Parte do material passou por digestão ácida para eliminação da matéria orgânica e determinação das concentrações de N e P total, e na outra parte foi feita extração aquosa dos íons para N-NO_3^- e N-NH_4^+ .

Tabela 1. Espécies arbóreas amostradas na floresta do PEFI.

Pioneiras	Não pioneiras
<i>Alchornea sidifolia</i> (Euphorbiaceae)	<i>Amaioua intermedia</i> (Myrtaceae)
<i>Solanum granulo-leprosum</i> (Solanaceae)	<i>Eugenia neoglomerata</i> (Myrtaceae)
<i>Miconia cabussu</i> (Melastomataceae)	<i>Guarea macrophylla</i> (Meliaceae)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Deposição atmosférica

Podemos observar na tabela 1, que, em média, o pH da água de chuva amostrada sob o dossel da floresta tendeu a ser mais alto do que o medido nas amostras obtidas em clareira. A variação do pH sob dossel foi menor (entre 5,1 e 6,9), registrando somente um evento considerado acidificado (pH 5,1). Em clareira, os valores de pH foram mais variáveis (de pH 4,4 a 7,4). A chuva tendeu a ser mais ácida em clareira. Já o pH da solução aquosa das amostras de deposição seca (material particulado/MP), foi mais estável tanto em clareira (de 6,6 a 7,5) quanto sob dossel (de 6,5 a 7,2) e menos ácido que o medido na água de chuva.

A condutividade elétrica da água de chuva foi menor do que a da solução MP. No mês de agosto, após um grande período de estiagem ocorreu um acúmulo do material atmosférico enriquecido de íons e alta condutividade (238 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sob dossel e 231 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em clareira). Como resultado, o primeiro evento de chuva posterior a esse período apresentou um pico na condutividade, alcançando os maiores valores do período de amostragem (324 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sob dossel e 128 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em clareira para a água de chuva) (Tabela 2).

Foi possível verificar, ainda, que as concentrações de N-NO_3 na deposição atmosférica foram superiores

as de N-NH₄. Novamente sob dossel, observamos maior deposição de N-NO₃ do que em clareira tanto para deposição pela chuva (28,3 a 0,8 em clareira; 47,3 a 0,2 sob dossel) quanto de MP. Houve maior variação da concentração dos íons nitrogenados nos eventos de chuva do que na deposição seca (Tabela 2).

Concentrações de N e P nas folhas das espécies arbóreas

Observando a tabela 3, vemos que as quantidades de N-NH₄ e N-NO₃ nas folhas das espécies pioneiras foram em média maiores que nas folhas das não pioneiras.

Mas se olharmos os resultados por espécie, observamos que as maiores concentrações foram medidas na espécie pioneira *Solanum granuloso-leprosum* (210 mg/kg de N-NH₄ e 210 N-mg/kg de NO₃). Além disso, em 2 das pioneiras - *Alchornea sidifolia* (0 mg/kg de N-NH₄ e 56 mg/kg de N-NO₃) e *Miconia cabussu* (28 mg/kg N-NH₄ e 84 mg/kg de N-NO₃) - os valores encontrados foram próximos ou menores do que os das não pioneiras (Tabela 3).

A concentração foliar de N total nas espécies pioneiras e não pioneiras foram, em média, de 37,2x10³ mg/kg e 27,6x10³ mg/kg, respectivamente. O conteúdo foliar de P total foi 2,1x10³ mg/kg nas espécies pioneiras e 1,1x10³ mg/kg nas não pioneiras. As concentrações mais altas de N e P também foram obtidas para a espécie pioneira *Solanum granuloso-leprosum* (210 de N-NH₄ e 210 de N-NO₃, respectivamente).

Gusewell (2004), baseado em revisão sobre o ciclo de nitrogênio nos ecossistemas das regiões de clima temperado e tropical, concluiu que a razão N/P em folhas é uma medida importante da potencial limitação nutricional à produtividade primária líquida nos ecossistemas, sugerindo que N/P < 10 e > 20 frequentemente indicam limitação por N e P respectivamente.

Usando o que foi proposto por Gunsewell (2004), podemos dizer que as espécies pioneiras estão dentro da faixa ideal de proporção entre N e P (em média 19,3; tabela 3) para seu crescimento, mas, as espécies não pioneiras apresentaram maior desequilíbrio em termos nutricionais (razão N/P média de 25,7; tabela 3). Por estar acima de 20, podemos inferir que há uma limitação de P para o crescimento dessas espécies ou mesmo um excesso de N, que pode causar efeitos tóxicos às plantas.

CONCLUSÕES

Concluimos que o pH da água de chuva tendeu a ser maior e mais estável sob dossel do que na clareira. O material particulado, devido a maior quantidade de íons, tendeu a ter valores mais elevados de pH e de condutividade do que a água de chuva. Houve maior deposição atmosférica de N-NO₃⁻ do que de N-NH₄⁺, tanto pela água de chuva quanto pela deposição seca.

As espécies pioneiras tenderam ter mais N e P em suas folhas do que as não pioneiras, indicando um melhor aproveitamento nutricional das pioneiras. *Solanum granuloso-leprosum* foi a espécie que apresentou maiores concentrações desses nutrientes. A média da razão N/P indicou que o aumento da produção primária pareceu ser menos limitada nas espécies pioneiras do que nas não pioneiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PIBIC/CNPq pela concessão de bolsa de iniciação científica ao primeiro autor; à CAPES pela bolsa de mestrado à segunda autora; ao Dr. Eduardo P.C. Gomes (pesquisador do Núcleo de Pesquisas em Ecologia, Instituto de Botânica) pela indicação e identificação das espécies arbóreas amostradas e aos colegas do Núcleo de Pesquisa em Ecologia, pelo auxílio nas coletas de folhas das espécies arbóreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Domingos M, Bourotte C, Klumpp A, Klumpp G & Forti MC. 2002. Impactos da poluição atmosférica sobre remanescentes florestais. In: D.C. Bicudo, M.C. Forti & C.E.M. Bicudo (eds.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. Imprensa Oficial, São Paulo, p. 221-250.
- Fernandes AJ, Reis LAM & Carvalho A. 2002. Caracterização do meio físico. In: D.C. Bicudo, M.C. Forti & C.E.M. Bicudo (eds.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. Imprensa Oficial, São Paulo, p.49-62.
- Güsewell S. 2004. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance *New Phytol.* 164, 243e266.
- Huang WJ, Zhou GY & Liu JX. 2012. Nitrogen and phosphorus status and their influence on aboveground production under increasing nitrogen deposition in three successional forests. *Acta Oecologica* 44: 20-27.
- Sardans J, Rivas-Ubach A & Peñuelas J. 2011. Factors affecting nutrient concentration and stoichiometry of forest trees in Catalonia (NE Spain). *Forest Ecology and Management* 262: 2024-2034.

Sardans J, Rivas-Ubach A & Peñuelas J. 2012. The C:N:P stoichiometry of organisms and ecosystems in a changing world: A review and perspectives. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 14: 33– 47.

van den Berg L & Ashmore M. 2008. Nitrogen. In *Encyclopedia of Ecology* (Jørgensen SE & Fath BD eds), Academic Press, Oxford, pp 2518-2526.

Widdison PE & Burt TP. 2008. Nitrogen cycle. In *Encyclopedia of Ecology* (Jørgensen SE & Fath BD eds), Academic Press, Oxford, pp 2526-2533.

Tabela 2. Valores médios, máximos e mínimos de pH, condutividade e concentrações de N-NH_4^+ e N-NO_3^- na deposição Atmosférica amostrada no PEFI durante inverno de 2014.

Deposição atmosférica		pH	Condutividade	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Água de chuva					
Clareira	Média	5,4	37,7	1,2	4,6
	Máximo	7,4	128,9	3,1	28,3
	Mínimo	4,4	15,3	0,6	0,8
	D.P.	0,9	31,9	0,8	7,9
Sob dossel	Média	6,5	106,0	1,7	10,6
	Máximo	6,9	324,8	5,3	47,3
	Mínimo	5,1	38,8	0,8	0,2
	D.P.	0,5	89,1	1,4	14,4
Deposição seca					
Clareira	Média	7,0	164,4	0,8	19,2
	Máximo	7,5	231,2	1,5	31,6
	Mínimo	6,6	128,6	0,4	10,1
	D.P.	0,4	43,1	0,5	8,3
Sob dossel	Média	6,9	157,6	1,3	11,4
	Máximo	7,2	238,1	1,8	16,2
	Mínimo	6,5	123,4	0,5	7,0
	D.P.	0,2	47,3	0,6	4,0

Concentrações de NH_4 e NO_3 em mg/L; condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$; D.P Desvio Padrão

Tabela 3. Concentrações foliares de nitrogênio total e suas formas solúveis, em mg/kg, nas espécies arbóreas pioneiras e não pioneiras amostradas no PEFI durante inverno de 2014.

Espécies	N-NH_4	N-NO_3	N total	P total	Ntot/Ptot
Espécies pioneiras					
<i>Alchornea sidifolia</i>	0,0	56,0	27,6x10 ²	1,8x10 ²	15,6
<i>Solanum granuloso-leprosum</i>	210,0	210,0	59,7x10 ²	36,2x10 ²	16,5
<i>Miconia cabussu</i>	28,0	84,0	24,4x10 ²	9,4x10 ²	25,9
Media	79,3	116,7	37,2x10²	21,1x10²	19,3
Desvio Padrão	114,0	82,0	19,5x10²	13,7x10²	5,7
Espécies não pioneiras					
<i>Amaioua intermedia.</i>	42,0	70,0	24,3x10 ²	9,0x10 ²	26,9
<i>Guarea macrophylla</i>	42,0	56,0	28,8x10 ²	9,1x10 ²	31,6
<i>Eugenia neoglomerata</i>	42,0	98,0	29,5x10 ²	15,9x10 ²	18,5
Media	42,0	74,7	27,6x10²	1,1x10²	25,7
Desvio Padrão	0,0	21,4	2,8x10²	3,0x10²	6,7

