

ANDRESSA RIBEIRO DOS SANTOS

**Produção, estoque e nutrientes da serapilheira
em Floresta Ombrófila Densa do
Parque Estadual das Fontes do Ipiranga,
São Paulo, Brasil**



Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2014

ANDRESSA RIBEIRO DOS SANTOS

**Produção, estoque e nutrientes da serapilheira
em Floresta Ombrófila Densa do
Parque Estadual das Fontes do Ipiranga,
São Paulo, Brasil**

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

ORIENTADORA: DRA. MÁRCIA INÊS MARTIN SILVEIRA LOPES

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

Santos, Andressa Ribeiro dos
S237p Produção, estoque e nutrientes da serapilheira em Floresta Ombrófila Densa do
Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, Brasil / Andressa Ribeiro dos
Santos -- São Paulo, 2014.
102 p. il.

Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio
Ambiente, 2014
Bibliografia.

1. Mata Atlântica. 2. Floresta Urbana. 3. Bambu. I. Título

CDU: 581.526.422.2

“Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou tv. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar o calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sobre o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser; que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver”

Amyr Klínk

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais volta ao seu tamanho original”

Albert Einstein

aos meus pais Altamira e Miguel e à minha irmã Adriana

que me ensinaram a sonhar e a buscar pelos meus objetivos

a todo esforço, incentivo e carinho desprendido

com muito amor e felicidade

ofereço

Muito Obrigada

Agradecimentos

É com enorme prazer que agradeço a todos que direta e indiretamente contribuíram e tornaram possível a realização deste estudo. Especialmente:

À minha orientadora “preferida e predileta” pela ajuda em todos os momentos, pelos questionamentos, pela paciência durante o processo produtivo e acima de tudo pelo companheirismo e amizade. Durante estes sete anos (desde a iniciação científica, muitos anos juntas, hein!) os conhecimentos e os ensinamentos adquiridos tornaram possível essa dissertação. Obrigada pela confiança em mim depositada para a realização deste trabalho;

Ao Instituto de Botânica, pelas condições oferecidas;

Ao CNPQ pelo auxílio financeiro que permitiu a realização das análises químicas (Processo 475831/2012-8 sob coordenação do pesquisador Dr. Eduardo Pereira Cabral Gomes);

Ao Dr. Eduardo Pereira Cabral Gomes pela colaboração no projeto;

À Dra. Marisa Domingos pelo exemplo de dedicação à pesquisa e pelo conhecimento transmitido;

À Dra. Regina Maria de Moraes, pelas conversas e auxílio nas dúvidas presentes;

À Dra. Carla Zuliani Sandrin Camargo e Dra. Patricia Bulbovas pelas revisões e bons conselhos partilhados;

Aos ajudantes das coletas: Meire, Giovanna, Francisco, “as panteras” Amariles, Marli, Valdenice e Dorinha, Isabella, Lucas, Pedro, Ewerton, Ane, Pati G., Sol, Raquel, Karina, as minhas queridas caronistas Pati B. e Carla e até o “aquaman” Murilo.

Aos triadores de plantão, que com muita paciência auxiliaram este árduo trabalho;

Aos companheiros de café pelas boas conversas que tornaram o começo e o final do dia muito melhores;

Aos amigos do Grupo Paulínia, onde tudo começou como trabalho e hoje tornou-se uma grande família composta pela Ane, Aninha, Carla, Douglas, Giovanna, Léo, Marcela, Marcelle, Márcia, Marisa, Marisia, Pati G., Pati B., Ricks e Sol. Vocês são demais;

E acima de tudo, à minha família. Por tudo que vocês fizeram e fazem, vocês são o meu orgulho, o meu incentivo, a minha coragem, o meu alicerce.

Muito obrigada

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E CICLAGEM DE NUTRIENTES	2
1.2 OS BAMBUS E AS FLORESTAS	5
1.3 A FLORESTA DO PARQUE ESTADUAL DAS FONTES DO IPIRANGA (PEFI)	6
2 OBJETIVOS	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PEFI	9
3.1.1 LOCALIZAÇÃO E HISTÓRICO	9
3.1.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E CLIMÁTICA	10
3.1.3 CARACTERIZAÇÃO VEGETACIONAL	12
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS ESTUDADOS	13
3.3 AMOSTRAGEM FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO	17
3.4 AMOSTRAGEM DA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA	19
3.5 AMOSTRAGEM DA SERAPILHEIRA ACUMULADA SOBRE O SOLO	19
3.6 ESTIMATIVA DA DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA	21
3.7 ANÁLISE QUÍMICA DO MATERIAL VEGETAL	21
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	22
4 RESULTADOS	23
4.1 SOLO	23
4.2 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA	25
4.2.1 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA PRODUZIDA	31
4.2.2 QUANTIDADE DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA PRODUZIDA	52
4.3 SERAPILHEIRA ACUMULADA	59

4.3.1 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA ACUMULADA	61
4.3.2 QUANTIDADE DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA ACUMULADA	63
5 DISCUSSÃO	66
<hr/>	
5.1 SOLO	66
5.2 SERAPILHEIRA PRODUZIDA	67
5.2.1 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA	72
5.2.2 QUANTIDADE DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA PRODUZIDA	78
5.3 SERAPILHEIRA ACUMULADA	79
5.3.1 CONCENTRAÇÃO E QUANTIDADE DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA ACUMULADA	81
5.4 DINÂMICA DOS NUTRIENTES NA FLORESTA DO PEFI	83
6 CONCLUSÕES	87
<hr/>	
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
<hr/>	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização do PEFI na Região Metropolitana de São Paulo, SP.....	9
Figura 2. Precipitação (mm) e temperatura (°C) histórica (1976-2007) e do período de estudo (2008-2012) no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP.	12
Figura 3. Mapa da vegetação do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP (Fonte: Pivello & Peccinini 2002, modificado)	13
Figura 4. Localização das áreas amostrais situadas dentro do PEFI, São Paulo, SP. Área CT: com dominância de bambu; Área IBt: sem dominância de bambu. A distribuição até 2007/2008 de <i>A. aristulata</i> dentro das áreas IBt e CT está representada em cinza	14
Figura 5. Aspecto geral das áreas amostradas no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga. Trecho do IBt (A1 e A2) e trecho do CT (B1 e B2).....	15
Figura 6. Distribuição de <i>Aulonemia aristulata</i> no PEFI, São Paulo, SP. Fonte: Shirasuna (2012)	16
Figura 7. Dossel da floresta nas parcelas amostradas no trecho do Instituto de Botânica (A) e do Parque CienTec (B) no PEFI, São Paulo, SP.....	18
Figura 8. Desenho esquemático da localização dos coletores em cada área estudada de 0,7 ha (140 x 50 m) no Instituto de Botânica e Parque CienTec. Áreas em cinza representam parcelas com a presença de <i>A. aristulata</i> até 2007/2008.....	20
Figura 9. Coleta do estoque de serapilheira acumulado sobre o solo. (A) antes e (B) após coleta do material.	20
Figura 10. Variáveis climáticas e deposição da serapilheira (total e frações) em duas áreas do PEFI, São Paulo, SP durante o período de 2008-2012 (n = 30).....	26
Figura 11. Concentrações trimestrais de nitrogênio (N g kg ⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)	32
Figura 12. Concentrações trimestrais de fósforo (P g kg ⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)	33
Figura 13. Concentrações trimestrais de potássio (K g kg ⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)	35
Figura 14. Concentrações trimestrais de cálcio (Ca g kg ⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)	36
Figura 15. Concentrações trimestrais de magnésio (Mg g kg ⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)	38

- Figura 16.** Concentrações trimestrais de enxofre ($S \text{ g kg}^{-1}$) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP ($n = 3$) **39**
- Figura 17.** Concentrações trimestrais de boro ($B \text{ mg kg}^{-1}$) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP ($n = 3$) **41**
- Figura 18.** Concentrações trimestrais de cobre ($Cu \text{ mg kg}^{-1}$) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI ($n = 3$)..... **42**
- Figura 19.** Concentrações trimestrais de ferro ($Fe \text{ mg kg}^{-1}$) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP ($n = 3$) **44**
- Figura 20.** Concentrações trimestrais de manganês ($Mn \text{ mg kg}^{-1}$) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP ($n = 3$) **45**
- Figura 21.** Concentrações trimestrais de zinco ($Zn \text{ mg kg}^{-1}$) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP ($n = 3$) **47**
- Figura 22.** Estimativa do estoque de serapilheira acumulada em duas áreas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (IBt e CT) durante os períodos úmido (dez-fev) e seco (jun-ago) entre os anos de 2009 e 2012 ($n = 30$) **61**

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Média dos dados climáticos da série histórica (1976-2007) e do período de estudo (2008-2012) para a área do PEFI, São Paulo, SP.....	11
Tabela 2. Dados meteorológicos obtidos da estação meteorológica IAG-USP durante os anos de 2008-2012 para o PEFI, São Paulo, SP.	12
Tabela 3. Características fitossociológicas das áreas estudadas no PEFI, São Paulo, SP.....	16
Tabela 4. Características químicas do solo nas áreas estudadas do Instituto de Botânica e do Parque Cientec no PEFI, São Paulo, SP (média \pm desvio padrão, n = 3).....	24
Tabela 5. Micronutrientes, granulometria e textura do solo nas áreas estudadas do Instituto de Botânica e do Parque CienTec no PEFI, São Paulo, SP (média \pm desvio padrão, n = 3)	24
Tabela 6. Produção anual (kg ha ⁻¹) e contribuição (%) das frações da serapilheira em duas áreas do PEFI com diferentes graus de dominância de <i>A. aristulata</i> durante o período de 2008-2012 (média \pm desvio padrão, n = 4)	27
Tabela 7. Produção anual (kg ha ⁻¹) e contribuição (%) das frações da serapilheira em duas áreas do PEFI durante o período de 2008-2012 (média \pm desvio padrão, n = 12).....	28
Tabela 8. Coeficiente de correlação de Pearson entre variáveis climáticas e produção de serapilheira (total e suas frações) entre 2008-2012 na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n=45)	30
Tabela 9. Estimativa anual média \pm desvio padrão (g kg ⁻¹) das concentrações de nitrogênio e fósforo nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12).	34
Tabela 10. Estimativa anual média \pm desvio padrão (g kg ⁻¹) das concentrações de potássio e cálcio nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12).	37
Tabela 11. Estimativa anual média \pm desvio padrão (g kg ⁻¹) das concentrações de magnésio e enxofre nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12).	40
Tabela 12. Estimativa anual média \pm desvio padrão (mg kg ⁻¹) das concentrações de boro e cobre nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na	

serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12). **43**

Tabela 13. Estimativa anual média \pm desvio padrão (mg kg^{-1}) das concentrações de ferro e manganês nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12). **46**

Tabela 14. Estimativa anual média \pm desvio padrão (mg kg^{-1}) das concentrações de zinco nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)..... **48**

Tabela 15. Concentração média mensal de macronutrientes (g kg^{-1}) nas diferentes frações da serapilheira produzida (média \pm desvio padrão) em dois trechos do PEFI sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* (n = 45)..... **51**

Tabela 16. Concentração média mensal de micronutrientes (mg kg^{-1}) nas diferentes frações da serapilheira produzida (média \pm desvio padrão) em dois trechos do PEFI sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* (n = 45)..... **52**

Tabela 17. Transferência anual (kg ha^{-1}) de nitrogênio, fósforo e potássio pelas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)..... **53**

Tabela 18. Transferência anual (kg ha^{-1}) de cálcio, magnésio e enxofre pelas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)..... **54**

Tabela 19. Transferência anual (kg ha^{-1}) de boro, cobre e ferro pelas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)..... **55**

Tabela 20. Transferência anual (kg ha^{-1}) de manganês e zinco pelas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)..... **56**

Tabela 21. Retorno de macronutrientes ao solo ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, média \pm desvio padrão) pelas diferentes frações da serapilheira produzida em duas áreas do PEFI sob diferentes domínios do bambu <i>A. aristulata</i> (n = 4)	58
Tabela 22. Retorno de micronutrientes ao solo ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, média \pm desvio padrão) pelas diferentes frações da serapilheira produzida em duas áreas do PEFI sob diferentes domínios do bambu <i>A. aristulata</i> (n = 4)	59
Tabela 23. Estimativa do estoque de serapilheira acumulada sobre o solo (kg ha^{-1}) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 30)	60
Tabela 24. Estimativa (média \pm desvio padrão) da concentração de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na serapilheira acumulada sobre o solo na floresta do PEFI sem dominância do bambu (IBt) e com dominância do bambu (CT) (n = 3).....	62
Tabela 25. Concentração média estimada de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na serapilheira acumulada sobre o solo (média \pm desvio padrão) em duas áreas do PEFI sob diferentes domínios do bambu <i>A. aristulata</i> (n = 3).....	63
Tabela 26. Estimativa da quantidade (média \pm desvio padrão) de macronutrientes e micronutrientes (kg ha^{-1}) na serapilheira acumulada sobre o solo na floresta do PEFI: sem dominância do bambu (IBt) e com dominância do bambu (CT) (n = 30).....	64
Tabela 27. Estimativa da quantidade de macronutrientes e micronutrientes (kg ha^{-1}) na serapilheira acumulada sobre o solo (média \pm desvio padrão) em duas áreas do PEFI sob diferentes domínios do bambu <i>A. aristulata</i> (n = 30)	65
Tabela 28. Produção total (tot), em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, contribuição das folhas (fol), material lenhoso (mat len) e órgãos reprodutivos (rep), em %, e quantidade de nutrientes, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na serapilheira das principais formações florestais brasileiras.....	70
Tabela 29. Concentração de macronutrientes (g kg^{-1}) na serapilheira total nas formações florestais brasileiras. (F. Ombrófila Densa – Floresta Ombrófila Densa), (F. Estacional Semidecidual – Floresta Estacional Semidecidual), (F. Estacional Decidual – Floresta Estacional Decidual)	75
Tabela 30. Serapilheira acumulada e quantidade de macronutrientes (kg ha^{-1}) em diferentes estudos realizados em Floresta Ombrófila Densa do Brasil.....	81
Tabela 31. Tempo de residência do nutriente (anos) na serapilheira acumulada sobre o solo nas áreas sem domínio (IBt) e com domínio de bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP	83
Tabela 32. Eficiência no uso dos nutrientes (EUN) nas áreas sem domínio (IBt) e com domínio de bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP.....	84

Tabela 33. Fluxos ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e estoques (kg ha^{-1}) de serapilheira e de nutrientes na floresta do PEFI em duas áreas sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* no subosque: IBt (mais preservado e sem dominância do bambu) e CT (com dominância do bambu) **86**

RESUMO

A produção de serapilheira é considerada a principal via de transferência de matéria orgânica e nutrientes no sistema solo-planta. Este material acumulado sobre o solo representa um importante estoque de minerais que só podem ser reutilizados pelas comunidades vegetais após ser decomposto. Desta forma, a avaliação destes compartimentos é de fundamental importância para o entendimento da ciclagem de nutrientes, podendo, também, indicar os impactos antrópicos e/ou naturais e a funcionalidade do ecossistema. Quando as florestas sofrem algum tipo de perturbação o processo de regeneração de suas clareiras pode ser dominado por espécies de bambus. As influências do florescimento e morte do bambu na dinâmica florestal são pouco entendidos devido à raridade destes eventos, uma vez que a espécie apresenta um longo crescimento vegetativo. Assim, este estudo teve como objetivo estimar, durante o período de quatro anos (2008-2012), a produção e o acúmulo de serapilheira, bem como o retorno de nutrientes ao solo da Floresta Ombrófila Densa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) em dois trechos, sendo um com subosque dominado pelo bambu *Aulonemia aristulata* e outro mais preservado. A questão principal foi avaliar como a dominância do subosque pelo bambu *A. aristulata*, após o evento de sua floração e morte ocorrido entre 2007 e 2008, afetou a produção e o acúmulo de serapilheira, bem como a ciclagem de elementos minerais nessa floresta. A produção de serapilheira na floresta do PEFI variou significativamente entre os locais estudados, sendo maior no trecho mais preservado ($8315 \pm 1495 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do que naquele dominado pelo bambu ($6770 \pm 1122 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), devido à contribuição das frações foliar e lenhosa, principalmente. A deposição foi contínua ao longo de todo o período estudado, com maior queda de folhas entre novembro e dezembro; de partes lenhosas entre janeiro e fevereiro e de flores, frutos e sementes entre outubro e fevereiro. O estoque de serapilheira acumulado sobre o solo foi também maior no trecho mais preservado ($10338 \pm 349 \text{ kg ha}^{-1}$) do que naquele com dominância de bambu no subosque ($7090 \pm 236 \text{ kg ha}^{-1}$), indicando maior taxa de renovação e de ciclagem do material orgânico em locais mais perturbados ($K = 0,96$) do que nos mais preservados ($K = 0,80$). Os picos de maior e menor queda de serapilheira coincidiram com os estoques acumulados no solo, sendo estes maiores no período úmido (janeiro-março). Os teores de nutrientes na serapilheira produzida pela floresta do PEFI foram variáveis, sendo que a área com dominância de bambu no subosque apresentou maiores concentrações de nitrogênio, fósforo, magnésio e manganês, enquanto a mais preservada de cálcio, boro, cobre, ferro, e zinco. Por outro lado, na serapilheira acumulada, apenas o manganês manteve os maiores teores no trecho com dominância de bambu, enquanto o nitrogênio, o cálcio, o

enxofre, o boro e o zinco foram mais altos no trecho mais preservado. O retorno anual de nutrientes ao solo pela serapilheira produzida na floresta do PEFI variou, em kg ha^{-1} , de 117-130 para nitrogênio, 58-81 para cálcio, 17-23 para potássio, 12-13 para manganês, 11-13 para magnésio, 9-13 para enxofre, 3-4 para fósforo e ferro, 0,5-0,8 para zinco, 0,3-0,5 para boro e 0,1-0,2 pra cobre, sendo, na maioria dos casos, maior no trecho sem domínio do bambu. Os reservatórios de nutrientes na serapilheira acumulada foram, também, superiores na área mais preservada. O florescimento e morte massiva do bambu *A. aristulata* na floresta do PEFI não influenciaram a produção de serapilheira, bem como seus fluxos e estoques de nutrientes. A ciclagem de nutrientes e a dinâmica da serapilheira na área dominada pelo bambu, portanto, está mais relacionada ao histórico de ocupação da floresta pela espécie do que ao impacto acarretado pelo seu florescimento e morte.

ABSTRACT

The litterfall is the main transfer pathway of organic matter and nutrients in the soil-plant system. The litter accumulated on the soil is an important stock of nutrients which are available to the plant communities after their decomposition. Therefore, the evaluation of these compartments is fundamental to understanding the nutrient cycling and may also indicate the anthropogenic and/or natural impacts as well as the functionality of the ecosystem process. The regeneration of gaps in disturbed forests can be dominated by bamboo species. The synchronized effects of bamboo flowering and death in forest dynamics are rarely studied due to the low frequency of these events, since the species has a long vegetative growth period. The aim of the present study was to estimate the production and the accumulation of litter as well as the return of nutrients to the soil in the Atlantic Forest of the Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) during four years (2008-2012). Also, we evaluated how the bamboo *Aulonemia aristulata* understory dominance affected that processes after its flowering and death events along 2007 and 2008 years. Thus, an area characterized by understory *A. aristulata* dominance and other without this dominance (more preserved) were selected in PEFI. Results showed that the litter production were higher in the most preserved site ($8315 \pm 1495 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) than those dominated by bamboo ($6770 \pm 1122 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) as consequence of foliar and woody fractions contribution. Deposition of organic material was observed during all period of study mainly in the wet season. The highest values of leaf fall occurred between November and December, woody parts between January and February and flowers, fruits and seeds between October and February. The litter layer on the soil was also higher in the most preserved area ($10338 \pm 349 \text{ kg ha}^{-1}$) than those with bamboo ($7090 \pm 236 \text{ kg ha}^{-1}$), indicating a higher turnover rate and organic material cycling. The higher and lower amounts of litterfall coincided with that found to the accumulated material on the soil. The contents of nutrients in the litterfall were quite variable. The area dominated by bamboo showed higher concentrations of nitrogen, phosphorus, magnesium and manganese while the most preserved area showed higher contents of calcium, boron, copper, iron and zinc. In the litter layer, only manganese remained with the highest levels in areas dominated by bamboo, while nitrogen, calcium, sulfur, boron and zinc were higher in the more preserved site. The annual return of nutrients to the soil through litterfall ranged to (kg ha^{-1}): 117-130 for nitrogen, 58-81 for calcium, 17-23 for potassium, 12-13 for manganese, 11-13 for magnesium, 9-13 for sulfur, 3-4 for phosphorus and iron, 0.5-0.8 for zinc, 0.3-0.5 for boron and 0.1-0.2 for copper. Nutrients amounts in litterfall and in litter layer were especially high

in the area without bamboo dominance. The effects of *A. aristulata* mass flowering and death did not affect the litterfall as well as its nutrients fluxes and stocks. Nutrient cycling and litter dynamics had more related to the history of the bamboo occupation than its flowering and death disturbance.

1 INTRODUÇÃO

Estudos acerca da produção e estoque de serapilheira e os fluxos de nutrientes a eles associados são utilizados como importantes indicadores da funcionalidade dos ecossistemas, sendo este processo influenciado diretamente pelos aspectos climáticos, edáficos e biológicos do ambiente. A análise da produção e estoque deve considerar a variabilidade espacial e temporal destes processos, de modo que estudos de longa duração são necessários para identificar os padrões e as respostas dos ecossistemas aos diversos fatores que influenciam a dinâmica da serapilheira. Entretanto, poucos foram os estudos realizados no Brasil que envolveram avaliações dos padrões de deposição e acúmulo de material orgânico durante períodos prolongados, destacando-se apenas os realizados por César (1993a), Dias & Oliveira Filho (1997), Haase (1999), Lopes *et al.* (2009) e Dickow *et al.* (2012).

O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) caracteriza-se como um importante fragmento florestal de vegetação natural localizado na cidade de São Paulo. Estudos sobre a dinâmica da ciclagem de nutrientes pela serapilheira realizados em sua floresta são de extrema importância para avaliar o desenvolvimento dos processos funcionais neste ambiente urbano.

A ocupação de bambus nas formações florestais brasileiras tem sido identificada por diversos autores (Filgueiras & Gonçalves 2004, Guilherme *et al.* 2004, Martins *et al.* 2004, Alves 2007, Araújo 2008, Ferreira *et al.* 2009) e os aspectos ligados à florística e aos impactos à estrutura das comunidades são os principais enfoques das pesquisas realizadas, sendo poucos os estudos realizados sobre os processos da dinâmica da serapilheira e ciclagem de nutrientes. Na floresta do PEFI, a população de bambus esta amplamente distribuída em sua área, sendo composta por 17 espécies pertencentes a cinco gêneros (Shirasuna & Filgueiras 2013).

A questão principal que norteou o presente estudo foi como a dominância do subosque pelo bambu *Aulonemia aristulata* (Döll) MacClure (Poaceae - Bambusoideae), após o evento de sua floração e morte ocorrido entre 2007 e 2008, influenciou a produção e o acúmulo de serapilheira, bem como a ciclagem de elementos minerais nessa floresta.

1.1 Dinâmica da serapilheira e ciclagem de nutrientes

A ciclagem de nutrientes minerais corresponde ao movimento cíclico dos elementos entre os seres vivos e o ambiente que os circunda (Delitti 1995), sendo fundamental nos processos funcionais que integram o sistema florestal, pois determina seu estabelecimento e dinâmica (Kimmins 2004). Em ambientes oligotróficos, por exemplo, a manutenção da estrutura e dos processos ecossistêmicos depende da eficiência da ciclagem de nutrientes nos diferentes compartimentos do ecossistema (Vitousek 1984, Wright & Westoby 2003, Barnes *et al.* 2011). Nestes ambientes, os nutrientes da serapilheira refletem diretamente a fertilidade do solo, pois locais mais férteis produzem serapilheira com melhores teores nutricionais (Vitousek 1986, Wood *et al.* 2006, Sayer & Tanner 2010).

O processo de ciclagem de nutrientes ocorre em todos os ecossistemas, contudo, a quantidade e qualidade de material estocado e circulado diferem para cada ambiente. Barbosa & Farias (2006) comparando vários sistemas, observaram maiores aportes de nutrientes em solos reflorestados, do que em florestas de diferentes estágios sucessionais. Ao contrário, Boeger *et al.* (2005) encontraram melhor qualidade nutricional da serapilheira em estágios avançados de sucessão, em relação aos iniciais e intermediários. Enquanto, Leitão Filho *et al.* (1993) verificaram maiores fluxos de elementos em locais mais afetados pela poluição atmosférica de Cubatão.

A produção de serapilheira é considerada a principal via de transferência de matéria orgânica e elementos minerais da vegetação para a superfície do solo. Em função disto, o monitoramento da sua dinâmica tem se tornado um dos processos mais utilizados para estimar o conjunto e histórico das respostas adaptativas da comunidade frente aos impactos naturais e/ou antrópicos a que estão submetidos (Vasconcelos & Luizão 2004, Ma *et al.* 2007, Merino *et al.* 2008, Gairola *et al.* 2009), para comparar o desenvolvimento dos diferentes ecossistemas florestais (Dent *et al.* 2006, Zhou *et al.* 2007, Mlambo & Nyathi 2008, Pinto *et al.* 2008, De Schrijver *et al.* 2009), bem como, para indicar os processos funcionais (Toledo *et al.* 2002, Liu *et al.* 2003, Ruiz-Jáen & Aide 2005, Vilella *et al.* 2006, Espig *et al.* 2008, Abreu *et al.* 2010, Sato *et al.* 2010, Zhang *et al.* 2013).

A serapilheira inclui todo material orgânico depositado na superfície do solo pela biota, ou seja, folhas, caules, ramos, órgãos reprodutivos, bem como, restos e excrementos de animais (Facelli & Pickett 1991). O padrão de deposição da serapilheira ao longo do ano é bastante diversificado. Enquanto em florestas decíduas temperadas ocorre a queda total do material em um curto período de tempo, nas florestas tropicais o fluxo é contínuo, variando

apenas as quantidades produzidas nas diferentes épocas do ano (Moraes 2002). Essa sazonalidade está ligada a fenologia das espécies, principalmente ao processo de senescência das folhas, bem como, aos estímulos ambientais, tais como fotoperíodo, temperatura e estresse hídrico (Andivia *et al.* 2010).

Neste sentido, vários estudos sobre a produção de serapilheira têm buscado identificar padrões de queda do material no decorrer do tempo e do espaço relacionando-os a fatores abióticos, como precipitação, temperatura e fertilidade do solo (Wood *et al.* 2005, Wood & Lawrence 2008, Bórem & Ramos 2002, Valenti *et al.* 2008, Abreu *et al.* 2010, Santana *et al.* 2010) e a fatores bióticos, como tipo de vegetação (Cianciaruso *et al.* 2006, Fernandes *et al.* 2007, Vogel *et al.* 2007, Hora *et al.* 2008), estágio sucessional da floresta (Boeger *et al.* 2005, Barbosa & Farias, 2006, Calvi *et al.* 2009, Köhler *et al.* 2008, Valdepino *et al.* 2009), grau de degradação (Werneck *et al.* 2001, Vidal *et al.* 2007, Roberts & Bilby 2009), de recuperação (Arato *et al.* 2003, Araújo *et al.* 2006, Lugo *et al.* 2004) e de poluição ambiental das áreas (Domingos *et al.* 1990, Leitão Filho *et al.* 1993, Domingos *et al.* 2000, Lopes *et al.* 2009). É importante destacar, que conforme as características de cada ecossistema um determinado fator pode prevalecer sobre os demais.

O acúmulo de serapilheira na superfície do solo é mediado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas e pela sua taxa de decomposição. A velocidade com que este ciclo ocorre é determinante para o ajuste da produtividade e da disponibilidade de nutrientes no sistema solo-planta (Cianciaruso *et al.* 2006, Xu *et al.* 2013), uma vez que, conforme Laskowski *et al.* (1995) e Sayer *et al.* (2012) afirmaram a matéria orgânica depositada na superfície do solo representa a principal reserva de nitrogênio e uma importante fonte de fósforo, cálcio, potássio e magnésio para as plantas. Assim, quanto maior o aporte de serapilheira e menor a velocidade de decomposição, maior será o acúmulo de material no solo. Este balanço reflete o estado de equilíbrio do ambiente (Poggiani & Schumacher 2000), uma vez que reduzida a decomposição os nutrientes ficam “retidos” na serapilheira e não disponíveis às plantas.

A serapilheira acumulada sobre o solo influencia diversos aspectos na floresta, tais como: emergência de plântulas (Scariot 2000, Santos & Válio 2002, Gilman *et al.* 2003), controle da temperatura e umidade do solo (Villalobos-Vega *et al.* 2011), aumento da densidade de raízes finas (Sayer *et al.* 2006), entre outros.

Durante o processo de decomposição do material orgânico ocorre simultaneamente a fragmentação física e química do material e posterior solubilização dos nutrientes no solo, desempenhando um papel fundamental no estoque de carbono e na disponibilidade de

nutrientes nos ecossistemas terrestres (Anaya *et al.* 2012). É regulada pela interação existente entre a composição da comunidade decompositora (macro e microrganismos), a quantidade e qualidade do material orgânico depositado (nitrogênio, fósforo, relação C/N, lignina, celulose) e as características de clima e solo do ambiente (Berg & McLaugherty 2008, Cardelus 2010, Gavazov 2010). A influência da precipitação e temperatura difere em escala de tempo e espaço, por exemplo, locais com climas mais quentes e úmidos possuem maiores taxas de decomposição, comparados aos de clima frio e seco (Aerts 1997, Zhang *et al.* 2008). Além disso, as estações do ano (chuvosa ou seca) estabelecem microclimas importantes na floresta que regulam a velocidade de decomposição, por influenciar diretamente na atividade da comunidade decompositora (Hattenshwiler *et al.* 2005, Sanaullah *et al.* 2011, García-Palacios *et al.* 2013). Assim, os fatores que influenciam o processo de decomposição podem ser divididos em escala regional (controlado pelo clima) e local (determinado pela qualidade química e física do material). Portanto, sob as mesmas condições climáticas, a taxa de decomposição da serapilheira em uma floresta pode variar em função da qualidade do substrato (propriedades físicas e químicas) e da composição das espécies (Xu & Hirata 2005, Weedon *et al.* 2009, Waring *et al.* 2012).

Durante o processo de decomposição do material orgânico ocorrem fases bastante ativas, com intensa perda de material, intercaladas por períodos de inibição ou estabilização, quando processos físicos, químicos ou biológicos limitam ou inibem o processo de decomposição (Berg & McLaugherty 2008, Zhou *et al.* 2008).

Sabe-se que as espécies diferem entre si nas suas capacidades de absorção, acúmulo e ciclagem de nutrientes e que os elementos minerais não estão igualmente distribuídos nos tecidos vegetais; assim, a composição da serapilheira varia consideravelmente de comunidade para comunidade (Delitti 1995, Suding *et al.* 2004, Pinto & Marques 2003, Vesterdal *et al.* 2008, Vesterdal *et al.* 2013). Para o Cerrado, Araújo & Haridassan (2007) encontraram diferentes concentrações de macronutrientes em folhas de espécies decíduas, semidecíduas e sempre verdes ao longo das estações, enquanto Pinto & Marques (2003) e Boerger *et al.* (2005) observaram diferenças na composição química das espécies arbóreas segundo o estágio sucessional da floresta. Desta maneira, a heterogeneidade temporal e espacial da produção da serapilheira e ciclagem de nutrientes pode ser influenciada pela estrutura e a dinâmica da comunidade florestal (Facelli & Pickett 1991).

1.2 Os bambus e as florestas

As florestas tropicais têm sido descritas como mosaicos vegetacionais em diferentes estágios de sucessão e divergentes quanto ao desenvolvimento, tamanho e composição de espécies. Quando estas sofrem algum tipo de perturbação ou distúrbio, seja de origem antrópica ou natural, o processo de regeneração de suas clareiras pode ser dominado por algumas espécies, como, por exemplo, os bambus (Griscom & Ashton 2003, Royo & Carson 2006, Gagnon & Platt 2008).

Os bambus são espécies normalmente presentes no subosque ou no dossel de florestas tropicais e subtropicais do mundo (Baskin 2009). Devido ao seu caráter de crescimento clonal e rizomatoso possui um elevado potencial invasor (Alves 2007). Araújo (2008) aponta que a ocupação pelo bambu é potencializada por perturbações, contudo, após sua consolidação no ecossistema, passa a ser o próprio agente de perturbação.

Os bambus se caracterizam por apresentar longo crescimento vegetativo, com posterior florescimento e morte massiva. Em função disto, o registro dos aspectos ecológicos de algumas populações é dificultado, uma vez que algumas espécies possuem crescimento vegetativo variando entre 07 e 150 anos (Janzen 1976).

O Brasil é o país do continente americano que possui a maior diversidade e presença de espécies endêmicas distribuídas nas diversas formações florestais (Filgueiras & Gonçalves 2004). A Mata Atlântica representa a principal formação florestal com maior riqueza de espécies (Tabarelli & Mantovani 2000). No Estado de São Paulo, por exemplo, a subfamília Bambusidae está representada pelas tribos Bambusaceae e Olyreae, as quais estão distribuídas em 14 gêneros e 50 espécies (Wanderley *et al.* 2001).

A dominância do dossel ou subosque pelo bambu em áreas florestais tem, nos últimos anos, sido apontada em várias partes do mundo (Peters *et al.* 1992, Gonzalez & Donoso 1999, Li *et al.* 2000, González *et al.* 2002, Dios *et al.* 2005, Giordano *et al.* 2009, Budke *et al.* 2010, Larpkern *et al.* 2011, Montti *et al.* 2011). No Brasil destacam-se os estudos desenvolvidos na Floresta Amazônica (Silveira 1999, Silveira 2001) e na Floresta Atlântica (Tabarelli & Mantovani 2000, Rother *et al.* 2009, Vinha *et al.* 2011, Lima *et al.* 2012). Estes trabalhos têm buscado avaliar a atuação e consequente interferência do bambu na estrutura e dinâmica destas florestas. E, demonstraram que vários aspectos da biologia do bambu (floração, manutenção e estabelecimento) retardam ou até mesmo impedem a regeneração florestal, devido a sua influência na germinação e desenvolvimento de plântulas, na ocupação de

clareiras por espécies pioneiras, bem como, no incremento em altura e área basal dos indivíduos arbóreos. Assim, a dominância por bambus passa a criar na paisagem diferentes padrões fisionômicos da cobertura vegetal (Araújo 2008).

Quanto aos processos ligados à ciclagem de material orgânico e nutrientes, os trabalhos realizados em ambientes ocupados por bambus apontam alta produção de biomassa pela espécie (Christanty *et al.* 1996, Isagi *et al.* 1997, Liu *et al.* 2000, Zhou *et al.* 2005), redução na taxa de decomposição da serapilheira em função dos altos teores de lignina, nitrogênio e da alta relação C/N do material (Christanty *et al.* 1996, Singh & Singh 1999, Liu *et al.* 2000, Dinakaran & Krishnayya 2010, Montti *et al.* 2011), bem como, menor retorno de nutrientes ao solo (Triparthi & Singh 1994, Triparthi & Singh 1995, Montti *et al.* 2011). Conseqüentemente, uma espessa camada de serapilheira se acumula sobre o solo em áreas ocupadas pela espécie (Tao *et al.* 2012).

1.3 A floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI)

O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, situado no município de São Paulo, um remanescente preservado de Floresta Ombrófila Densa, constitui-se em uma verdadeira ilha florestal inserida totalmente na malha urbana, o qual sofre impactos de toda a ordem, sendo a poluição ambiental e a ocupação humana os principais agentes tensores (Barbosa *et al.* 2002).

Estudos da dinâmica da paisagem realizados por Pivello & Peccinini (2002) mostraram que esta floresta compreende um mosaico vegetacional que se encontra em distintos estádios sucessionais, tanto em fase de regeneração como de degradação. Além disso, em muitas áreas do PEFI o subosque está sendo gradativamente ocupado por espécies de bambus (Shirasuna & Filgueiras 2013). As perturbações ocorridas no passado (poluição aérea, incêndios, entre outras) podem ter contribuído para a ocupação e a dominância do subosque pela espécie *A. aristulata*, decorrente, principalmente, da sua capacidade de formar uma rede volumosa de rizomas que parece ter contribuído para a diminuição da sobrevivência de outras espécies arbóreas (Grombone-Guaratini *et al.* 2011).

A influência do bambu *A. aristulata* no processo de regeneração da floresta do PEFI foi verificada por meio dos estudos sobre o banco de sementes (Vinha *et al.* 2011), chuva de sementes (Grombone-Guaratini *et al.* 2014) e a dinâmica de clareiras (Davison 2009). Estes trabalhos não encontraram fatores significativos que impediriam a regeneração da floresta, contudo, Grombone-Guaratini *et al.* (2011) apontam, que o recrutamento massivo de

plântulas, observado após a morte do bambu (em 2008), associado a sua habilidade de colonizar áreas abertas, poderia promover a recolonização pela espécie.

Os estudos da dinâmica de nutrientes realizados até o momento no PEFI (produção, acúmulo e decomposição da serapilheira) envolveram apenas porções mais preservadas da floresta (Teixeira *et al.* 1992, Moraes 2002, Cecon 2003) e não avaliaram a ciclagem de nutrientes por estes compartimentos.

Em função disto, estudar a dinâmica da serapilheira e a ciclagem de nutrientes na Floresta do PEFI, em porções com diferentes graus de ocupação pelos bambus, torna-se fonte básica de informação sobre os impactos na funcionalidade desta floresta e de outras áreas que estejam em situação semelhante. É necessário, também, destacar que as influências do florescimento e morte do bambu são pouco conhecidas na dinâmica do funcionamento de ecossistemas florestais, devido, principalmente, a raridade destes eventos (Budke *et al.* 2010), complementando a necessidade da realização do presente estudo.

2 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a produção, estoque e nutrientes da serapilheira durante o período de quatro anos (2008-2012) em fragmento de Floresta Ombrófila Densa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, em São Paulo, em dois trechos, sendo um deles mais preservado e o outro com subosque dominado pelo bambu *Aulonemia aristulata* até 2007-2008, quando ocorreu seu florescimento e morte massiva, com os seguintes objetivos específicos:

1. Quantificar a variação temporal e espacial da produção de serapilheira total e de suas frações folhas, partes lenhosas, flores, frutos e sementes;
2. Quantificar o estoque de serapilheira acumulado sobre o solo;
3. Estimar o retorno de nutrientes ao solo pela queda e acúmulo de serapilheira total e de suas frações;
4. Investigar a existência de correlações entre algumas variáveis climáticas com a produção de serapilheira;
5. Inferir sobre o impacto do bambu na floresta do PEFI.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características gerais do PEFI

3.1.1 Localização e histórico

O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (Figura 1) com 526 hectares representa uma importante ilha florestal em uma região extremamente urbanizada da cidade de São Paulo, situado entre os paralelos 23°38'08'' e 23°40'18''S e os meridianos 46°36'48'' e 46°38'00''W (Barbosa *et al.* 2002).

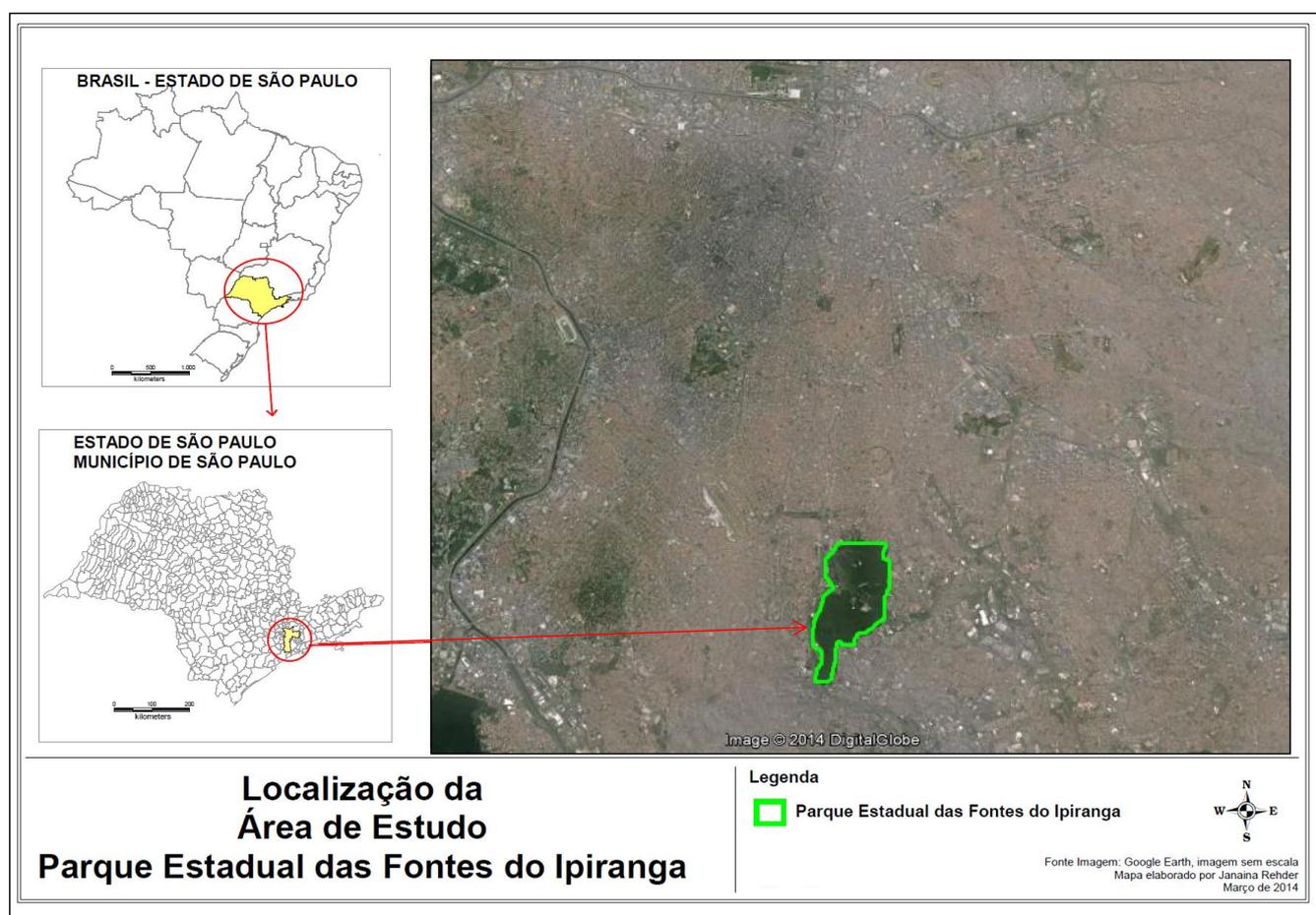


Figura 1. Localização do PEFI na Região Metropolitana de São Paulo, SP.

Em função da intensa urbanização a que está submetida, a floresta do PEFI tem sido alvo de perturbações diretas e indiretas, realizadas tanto no entorno como em seu interior (Reis 2002), tais como retirada de árvores, invasões irregulares e poluentes atmosféricos emitidos por veículos e indústrias situadas nas proximidades.

Historicamente, agentes de perturbação crônica, ao qual esta floresta esteve sujeita durante as décadas de 1960 a 1980, foram os poluentes atmosféricos emitidos pela siderúrgica Aliperti, vizinha ao Parque, os quais acarretaram diversos impactos em sua estrutura devido à morte de árvores e, conseqüente, abertura do dossel (Pivello & Peccinini 2002), aumento dos elementos tóxicos nas folhas, serapilheira e solo, bem como do pH e de cátions nutrientes básicos no solo das proximidades da siderúrgica (De Vuono *et al.* 1984, De Vuono *et al.* 1988). A poluição aérea provocada pela siderúrgica perdurou até o ano de 1991, quando foi desativada e passou apenas a remanufaturar o ferro adquirido (Barros *et al.* 2002).

3.1.2 Caracterização Física e Climática

Geologicamente, na área do Parque ocorre uma zona de contato entre as rochas pré-cambrianas e sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Predominam as rochas pré-cambrianas (gnaisse e biotita gnaisse, muscovita-biotita gnaisse fino) em relação aos sedimentos do quaternário que estão associados às planícies aluviais e sobrepostas aos gnaisses pré-cambrianos e aos sedimentos do terciário compostos por argilo-siltosos, arenitos grossos pelíticos, lamitos maciços e seixos de quartzo (Fernandes *et al.* 2002).

Localizada dentro da zona do Planalto Atlântico prevalece no PEFI o relevo suave ondulado, com presença de topos convexos nas porções mais elevadas, os quais constituem importantes divisores de água das subacias do riacho do Ipiranga, e patamares convexizados nas superfícies aplanadas presentes nas porções mais baixas por onde desaguam as águas. As cotas altimétricas variam entre 760 a 825 m (Fernandes *et al.* 2002).

No Parque predominam os Latossolos Vermelho Amarelos, distróficos e álicos. Tais solos, de ampla distribuição no Brasil, apresentam predomínio do mineral goethita em relação à hematita. As principais características deste solo são a grande profundidade, a alta porosidade, com conseqüente boa drenagem, pequena diferenciação entre os horizontes, além da alta capacidade de lixiviação de nutrientes e fixação de fósforo (EMBRAPA 2006).

Situado dentro da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, o PEFI possui clima temperado Cwb, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por chuvas de verão e inverno seco (Santos & Funari 2002). No Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP) a estação meteorológica do Parque (23°39'S - 46°37'W, 799 m) vem registrando dados desde o ano de 1932. Com base em uma série histórica de 31 anos (1976-2007) a temperatura média é 19,2°C, oscilando entre a máxima de 31,2°C e a mínima de 10,7°C. A

precipitação média anual é de 1515 mm e umidade média de 80%. Comparado aos dados climáticos da série histórica, os anos de realização do presente estudo (2008-2012) foram mais chuvosos (1802 mm) e com menor amplitude térmica, devido à temperatura máxima mais baixa (27,8°C) e à temperatura mínima mais alta (13,7°C) (Tabela 1). Durante a estação úmida (dezembro a fevereiro) a temperatura variou entre 21,8°C a 23°C e a precipitação total foi de 938 mm, enquanto no período seco nos meses de junho a agosto as temperaturas foram baixas (15,7-17,2°C) e tempo foi seco (197 mm) (Figura 2).

Tabela 1. Média dos dados climáticos da série histórica (1976-2007) e do período de estudo (2008-2012) para a área do PEFI, São Paulo, SP

		Série histórica (1976-2007)	Período de estudo (2008-2012)
Temperatura (°C)	Média	19,2	19,4
	Máxima	31,2	27,8
	Mínima	10,7	13,7
Precipitação (mm)	Anual	1515	1802
Umidade (%)	Média	80,8	80,5
	Mínima	32,0	30,0

Fonte: Dados obtidos da estação meteorológica IAG-USP localizada no Parque Cientec.

Durante o período de 2008 a 2012 ocorreu baixa variação da temperatura, umidade e velocidade do vento. A precipitação variou de 1471 a 2142 mm, enquanto a radiação de 5377 a 6106 MJ m⁻². O segundo ano (set/2009 a set/2010) foi mais chuvoso (2142 mm) e mais quente (25,9°C), quando comparado ao terceiro (set/2010 a set/2011) com menor precipitação (1471 mm), temperatura (15,0°C) e insolação (5377 MJ m⁻²) (Tabela 2).

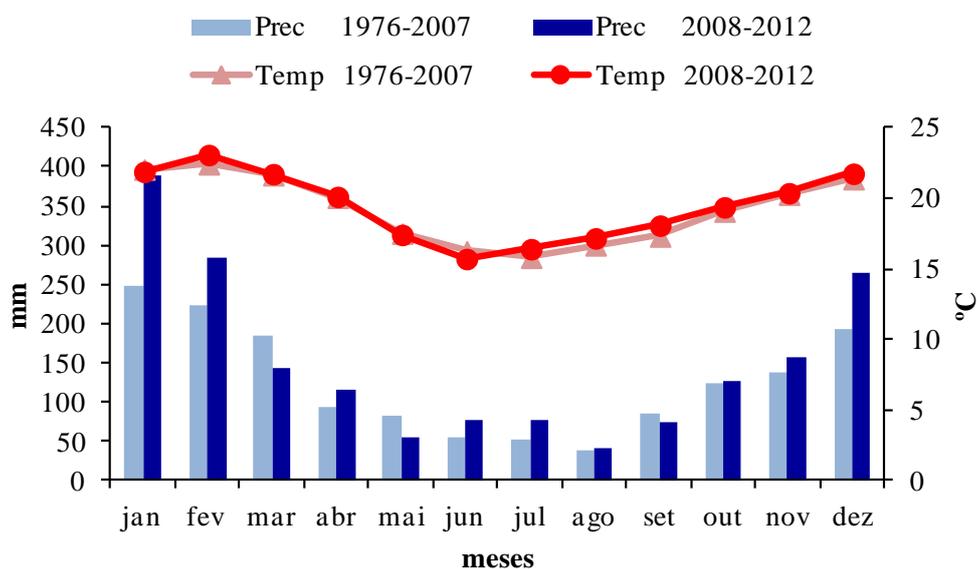


Figura 2. Precipitação (mm) e temperatura (°C) histórica (1976-2007) e do período de estudo (2008-2012) no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP.

Tabela 2. Dados meteorológicos obtidos da estação meteorológica IAG-USP durante os anos de 2008-2012 para o PEFI, São Paulo, SP.

		Anos de Estudo				
		2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2008-2012
Temperatura (°C)	Média	19,1	19,8	19,1	19,4	19,4
	Máxima	24,9	25,9	25,2	25,6	25,4
	Mínima	15,2	15,7	15,0	15,1	15,3
Precipitação (mm)	Anual	1834	2142	1471	1765	1870
Umidade (%)	Máxima	82	80	82	80	81
	Mínima	59	56	57	54	56
Radiação (MJ m⁻²)	Total	5377	5638	5377	6106	5625
Velocidade do vento (km h⁻¹)	Média	5,9	5,2	4,8	5,4	5,3
	Máxima	11,0	10,7	10,1	10,8	10,7

3.1.3 Caracterização vegetacional

A vegetação do PEFI é um importante remanescente de mata nativa preservada do planalto paulistano, sendo a terceira maior Unidade de Conservação do município de São Paulo (Barros *et al.* 2002). Está inserida no domínio da Mata Atlântica sendo classificada por Veloso *et al.* (1991) como Floresta Ombrófila Densa.

Segundo mapeamento das fitofisionomias e uso da terra realizado por Pivello & Peccinini (2002) foram observadas áreas com florestas secundárias em diferentes estágios de regeneração que formam mosaicos de áreas preservadas e degradadas (Figura 3). Cinco tipos florestais foram identificados conforme a forma do dossel e porte da vegetação, sendo eles: a) floresta com dossel heterogêneo e porte alto; b) floresta com dossel heterogêneo e porte baixo; c) floresta com dossel homogêneo esparsa; d) floresta com dossel homogêneo densa; e) floresta com dossel descontínuo/degradada. Segundo análise de similaridade, a floresta com dossel heterogêneo e porte alto assemelha-se a floresta com dossel homogêneo densa, enquanto a floresta com dossel heterogêneo e porte baixo e a floresta com dossel descontínuo/degradada formam outro grupo, diferente das demais.

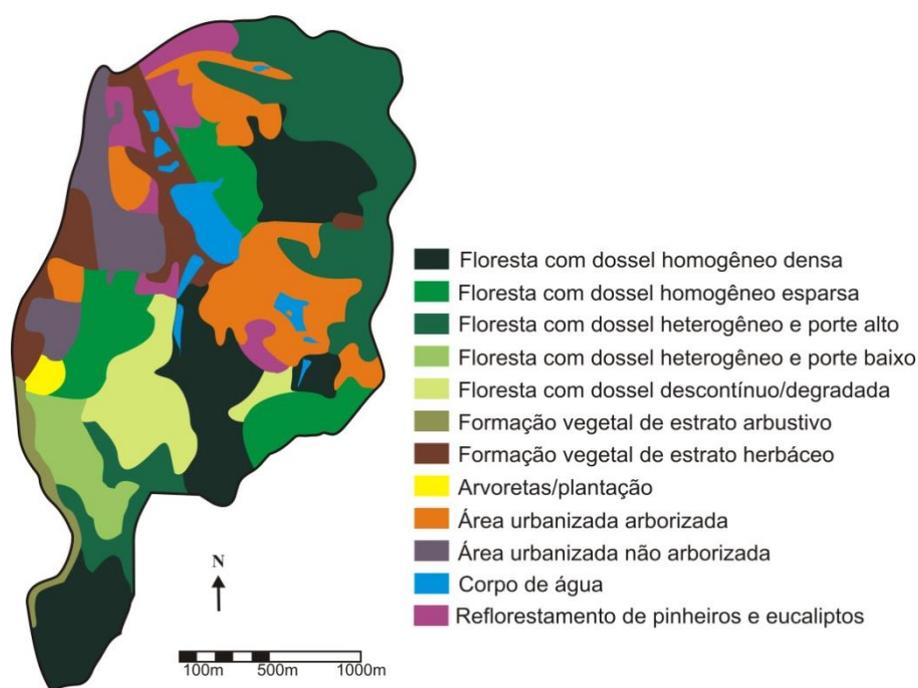


Figura 3. Mapa da vegetação do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP (Fonte: Pivello & Peccinini 2002, modificado)

3.2 Caracterização dos trechos estudados

Foram selecionados para este estudo duas áreas dentro do Parque, sendo uma delas mais preservada e sem predominância de bambus, localizada no Instituto de Botânica (IBt - 23°28'36''S e 46°36'53''W) e, a outra, com subosque predominado por bambus, situada no Parque de Ciências e Tecnologia da Universidade de São Paulo - CienTec (CT - 23°39'20''S e 46°37'66''W) (Figura 4).

A área do IBt, selecionada como controle, é uma floresta com dossel heterogêneo e porte alto (Pivello & Peccinini 2002) e estágio sucessional secundário tardio cuja estrutura e fisionomia indicam um melhor estado de conservação (Peccinini & Pivello 2002, Shirasuna & Filgueiras 2013). Neste trecho *Aulonemia aristulata* e outras espécies de bambu ocorrem de maneira esparsa, como componente natural do subosque. Nesta área, em levantamento da vegetação arbustivo-arbórea presente no subosque encontrou-se uma densidade de 6040 ind ha⁻¹, distribuídas entre 26 famílias e 71 espécies (Davison 2006) (Figuras 4 e 5, Tabela 3).

A área do Parque CienTec está localizada nas porções de floresta com dossel homogêneo denso (Pivello & Peccinini 2002) e encontra-se em estágio sucessional secundário médio (Shirasuna & Filgueiras 2013). Em levantamento da vegetação arbustivo-arbórea presente no subosque encontrou-se uma densidade de 6100 ind ha⁻¹, distribuídas entre 26 famílias e 88 espécies (Davison 2006) (Figuras 4 e 5, Tabela 3).

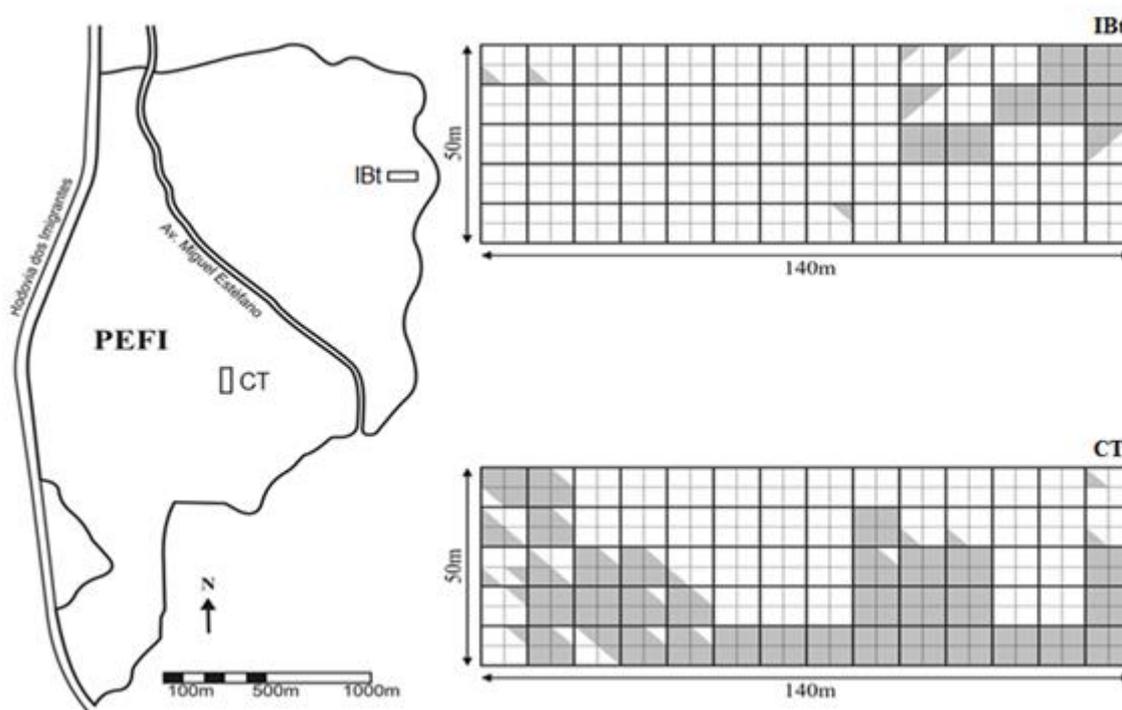


Figura 4. Localização das áreas amostrais situadas dentro do PEFI, São Paulo, SP. Área CT: com dominância de bambu; Área IBt: sem dominância de bambu. A distribuição até 2007/2008 de *A. aristulata* dentro das áreas IBt e CT está representada em cinza

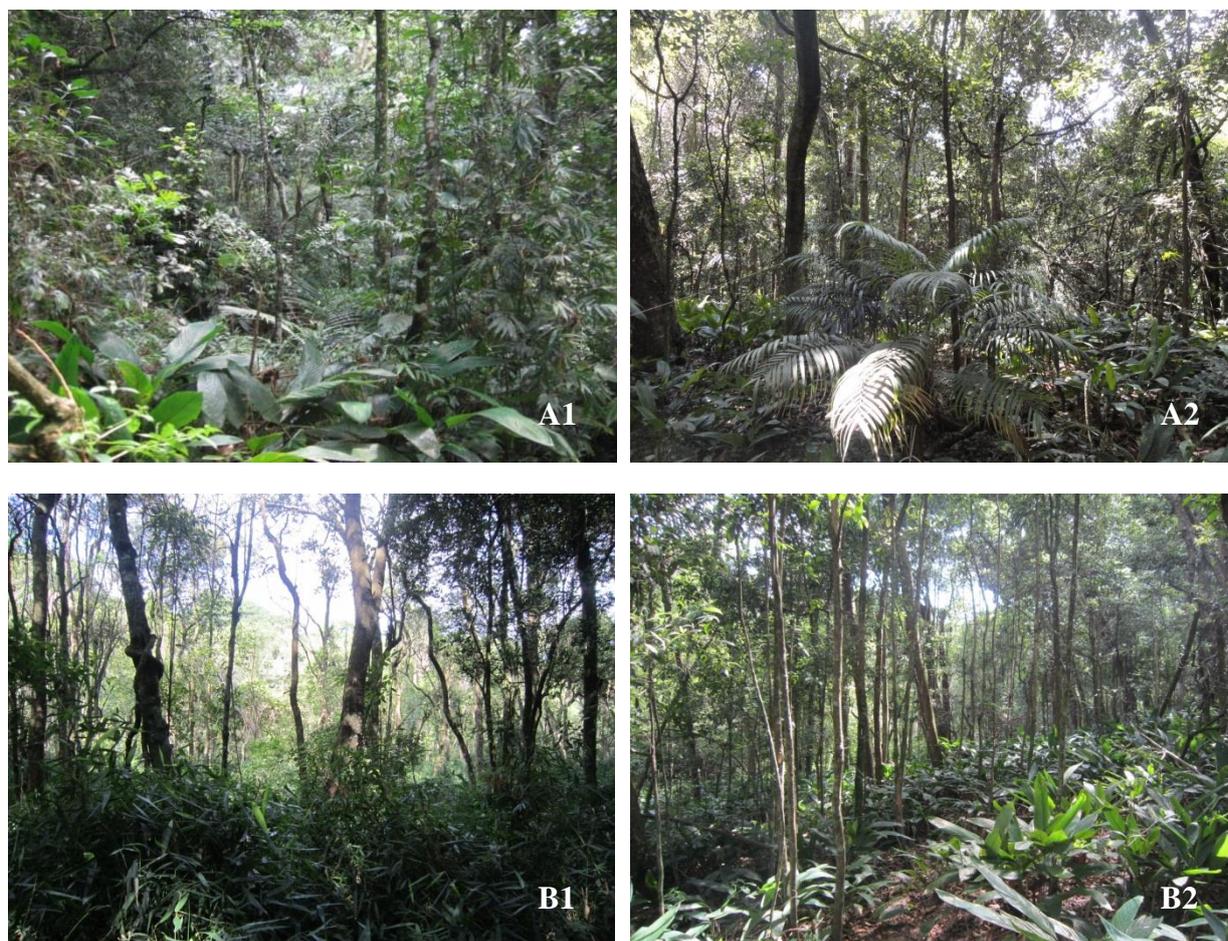


Figura 5. Aspecto geral das áreas amostradas no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga. Trecho do IBt (A1 e A2) e trecho do CT (B1 e B2)

Esta porção do CienTec apresenta acentuado domínio de *A. aristulata*. Entre os meses de agosto e outubro de 2007 ocorreu a floração em massa da população de *A. aristulata* dentro do PEFI e consequente morte, entre dezembro de 2007 e abril de 2008 (Grombone-Guaratini *et al.* 2011). Ao longo do período de estudo, ocorreu a regeneração deste bambu na área do CT, enquanto que na área do IBt não ocorreu.

A espécie *A. aristulata* possui hábito arbustivo e arbóreo, é escandante e lignificada (Shirasuna & Filgueiras 2013). Esta distribuída na região central e sudeste do Brasil, sendo na Mata Atlântica encontrada nas matas secundárias (Wanderley *et al.* 2001). A população se concentra no Parque nos trechos em estágio secundário de desenvolvimento (Figura 6). Sua floração foi registrada nos anos de 1959, 1974, 1976, 2007 e 2008, denotando um ciclo reprodutivo de 15-16 anos (Shirasuna & Filgueiras 2013).

Tabela 3. Características fitossociológicas das áreas estudadas no PEFI, São Paulo, SP.

	IBt sem domínio do bambu	CT com domínio do bambu
Estrato arbóreo*		
Densidade de árvores (ind ha ⁻¹)	1767	1354
Densidade de palmeiras (ind ha ⁻¹)	24	50
Densidade de lianas (ind ha ⁻¹)	1077	395
Biomassa de árvores (Mg ha ⁻¹)	203	186
Estrato arbustivo-arbóreo**		
Densidade de árvores (ind ha ⁻¹)	6040	6100
n° espécies	71	88
n° famílias	26	26
Altura média (m)	5,1	5,1
Espécies mais importantes (IVI %)	<i>Geonoma gamiova</i> <i>Calyptranthes grandifolia</i> <i>Dendropanax exilis</i> <i>Gomideia tijucensis</i> <i>Pouteria reticulata</i>	<i>Psychotria malaeoides</i> <i>Miconia cf. cubatanensis</i> <i>Coussarea contracta</i> <i>Guapira opposita</i> <i>Eupatorium sp.</i>
Famílias dominantes	Myrtaceae Lauraceae Rubiaceae Fabaceae Arecaceae	Rubiaceae Myrtaceae Fabaceae Melastomataceae Lauraceae

*DAP \geq 5 cm (Carvalho *et al.* 2010), **DAP \leq 2,5 cm e altura >1 m (Davison 2006).

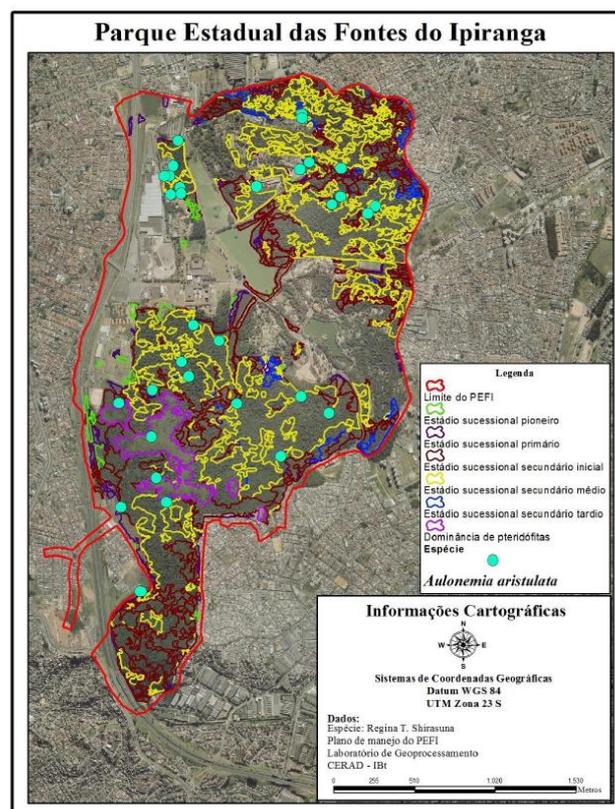


Figura 6. Distribuição de *Aulonemia aristulata* no PEFI, São Paulo, SP. Fonte: Shirasuna (2012).

No estrato arbóreo da área do IBT a densidade de espécies arbóreas e de lianas é significativamente maior que a do CT (Carvalho *et al.* 2010). Para o estrato arbustivo-arbóreo, apesar de serem semelhantes em termos estruturais, as áreas apresentam diferenças na composição de espécies mais importantes, bem como nas famílias mais dominantes (Tabela 3). Os estudos sobre o banco (Vinha *et al.* 2011) e a chuva de sementes (Grombone-Guaratini *et al.* (2014), também mostraram uma diferente composição de espécies. O dossel da floresta dos trechos amostrados pode ser observado na Figura 7. Na área do Instituto de Botânica apresenta-se mais fechado, indicando uma menor quantidade de luz que atinge o subosque, em função, principalmente, do maior número de indivíduos arbóreos. O dossel do CT, por sua vez, é mais aberto.

3.3 Amostragem física e química do solo

A avaliação das características físicas e químicas do solo das áreas estudadas foi realizada em setembro de 2010, dois anos após a morte do bambu. A amostragem do solo foi feita nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade com auxílio de trado holandês, retirando-se três amostras compostas por oito amostras simples, totalizando nove amostras de solo por área.

No laboratório do Núcleo em Pesquisa em Ecologia, as amostras de cada profundidade foram destorroadas, secas ao ar para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha e a seguir, encaminhadas ao Laboratório de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, para, de acordo com EMBRAPA (1997), avaliação das seguintes características físicas e químicas: a granulometria foi determinada pelo método de Boyoucos (densímetro); o pH do solo foi mensurado em solução 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂ (razão solo/CaCl₂ 1/2,5); P, K, Ca e Mg foram extraídos com resina trocadora de íons. O fósforo foi determinado espectrometricamente com complexo azul de molibdênio, o potássio em fotometria de emissão de chama, o cálcio e magnésio em espectrometria de absorção atômica. O alumínio foi extraído com solução de KCl (1 mol L⁻¹) e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹; o carbono orgânico (Corg) foi determinado por colorimetria, após a oxidação da matéria orgânica com dicromato (Na₂Cr₂O₇.2H₂O) e ácido sulfúrico (H₂SO₄); o nitrogênio total (Ntot) por digestão ácida (H₂SO₄) e método Kjeldahl; o enxofre foi extraído com Ca(HPO₄)₂ e determinado por turbimetria; os micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) foram extraídos em solução DTPA-TEA em pH 7,3 e determinados em espectrometria de absorção atômica, enquanto o B foi extraído em água quente e determinado em micro-ondas.

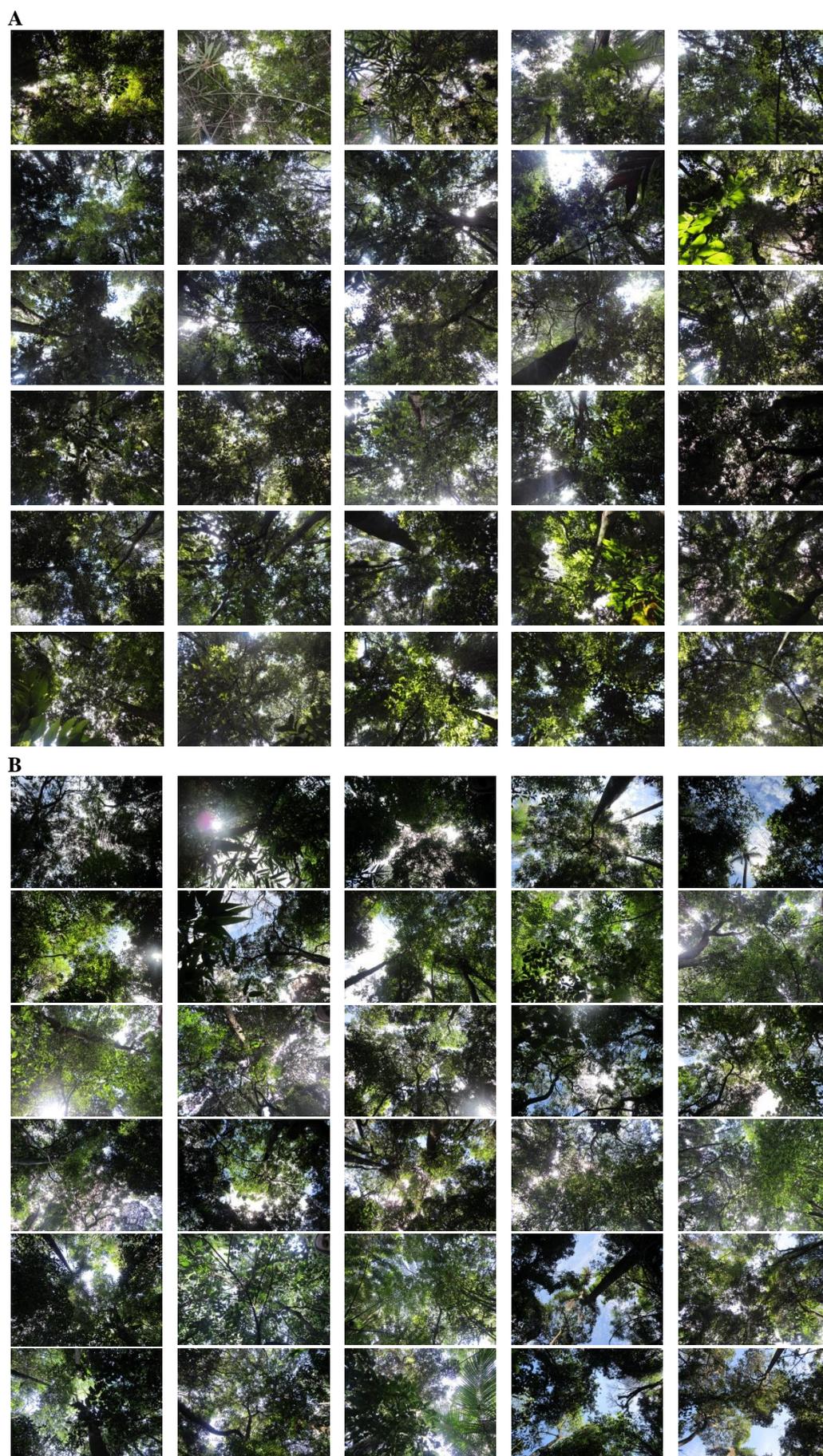


Figura 7. Dossel da floresta nas parcelas amostradas no trecho do Instituto de Botânica (A) e do Parque CienTec (B) no PEFI, São Paulo, SP.

A partir dos resultados obtidos foram calculados o nitrogênio total, a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC_{pH7}) e a saturação em bases (V%) e em alumínio (m%).

3.4 Amostragem da produção de serapilheira

Em cada trecho, a produção de serapilheira foi estimada em uma área amostral de 0,7 ha (140 x 50 m), dividida em 70 parcelas de 10 x 10 m, onde foram distribuídos aleatoriamente 30 coletores circulares com 0,5 m² de área e fundo em tela de náilon com 1mm² de malha, colocados a 1m acima da superfície do solo (Figura 8).

Os coletores foram instalados em setembro de 2008 e desde então o material interceptado foi recolhido mensalmente, acondicionado em sacos plásticos etiquetados e conduzido ao laboratório. As coletas foram concluídas em setembro de 2012 quando completaram quatro anos de amostragem.

Em cada coleta, a serapilheira retirada dos coletores foi seca previamente ao ar e triada manualmente nas frações: folhas, material lenhoso (galhos e ramos com até 2 cm de diâmetro), flores, frutos/sementes e miscelânea (material não identificado). Após a triagem, as frações foram secas em estufa de circulação de ar a 60°C até atingirem peso constante, pesadas e trituradas para posterior análise química. Os resultados foram expressos em kg ha⁻¹.

3.5 Amostragem da serapilheira acumulada sobre o solo

A estimativa da quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo foi realizada por meio da utilização de um quadrado de madeira de 25 cm de lado (0,0625 m²) em 30 parcelas de 10 x 10 m, onde também se encontravam instalados os 30 coletores de serapilheira produzida. Em cada parcela foi retirado todo material contido em dois quadrados (amostras) nas adjacências dos coletores, totalizando 60 amostras por área amostral (Figura 9).

Foram realizadas 5 amostragens de estoque acumulado, sendo duas em período úmido (janeiro de 2009 e fevereiro de 2012) e três em período seco (julho de 2009, agosto de 2010 e junho de 2011).

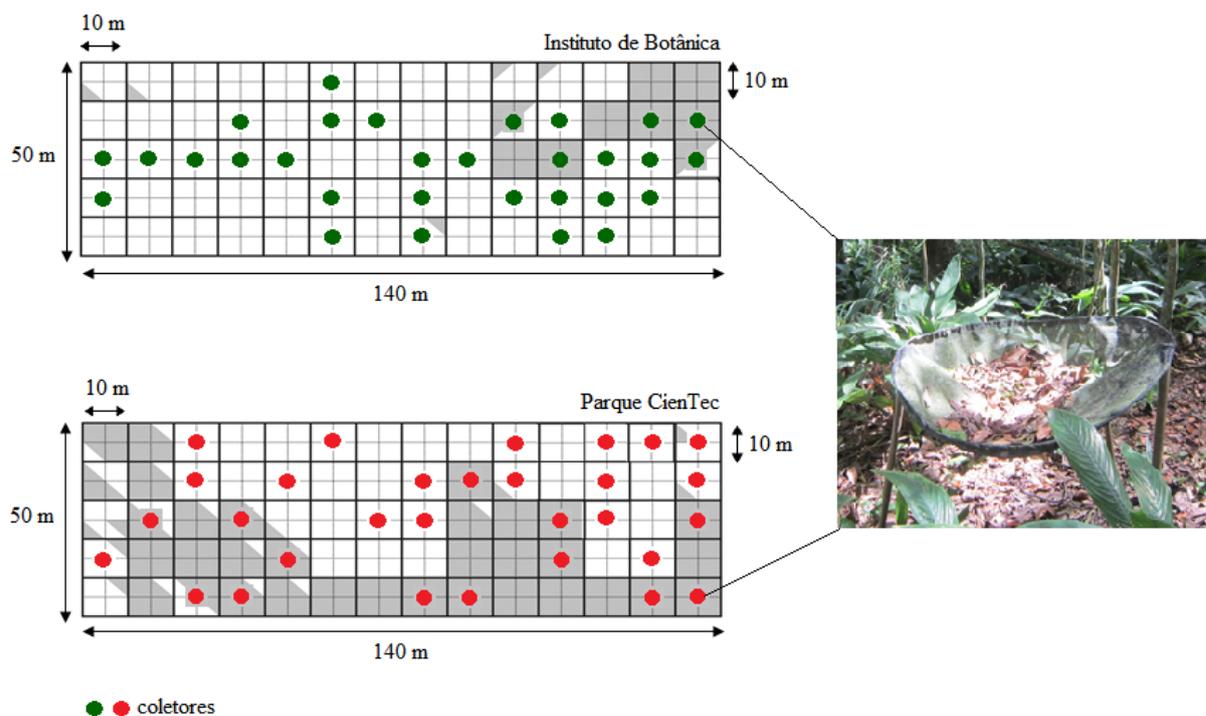


Figura 8. Desenho esquemático da localização dos coletores em cada área estudada de 0,7 ha (140 x 50 m) no Instituto de Botânica e Parque CienTec. Áreas em cinza representam parcelas com a presença de *A. aristulata* até 2007/2008.



Figura 9. Coleta do estoque de serapilheira acumulado sobre o solo. (A) antes e (B) após coleta do material.

O material coletado foi acondicionado em sacos de papel etiquetados, levados ao laboratório para secagem prévia ao ar e retirada do solo aderido às amostras. A seguir, as amostras foram secas em estufa, com circulação de ar a 60°C, pesadas após atingirem o peso seco e trituradas para posterior análise química. Os resultados foram expressos em kg ha^{-1} .

3.6 Estimativa da decomposição da serapilheira

A taxa de decomposição (K) foi calculada para o período de 2008-2012 conforme método proposto por Olson (1963), conforme a seguinte equação:

$$K = \frac{L}{X_{ss}}$$

Onde: K = taxa instantânea de decomposição;

L = quantidade anual de serapilheira produzida (kg ha⁻¹ ano⁻¹)

X_{ss} = quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo (kg ha⁻¹)

A partir da taxa de decomposição, foi calculado o tempo médio de renovação da serapilheira acumulada, estimada em anos, pela equação 1/K.

3.7 Análise química do material vegetal

Para as análises químicas dos nutrientes contidos nas frações da serapilheira produzida as amostras foram reunidas da seguinte forma: mensalmente (folhas e material lenhoso), trimestralmente (flores e frutos/sementes) e anualmente (miscelânea). Para a análise química da serapilheira acumulada as amostras de cada período de coleta foram reunidas em três subamostras oriundas de dez parcelas amostradas.

A análise química do material foi realizada no Laboratório de Análise de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” onde foram determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). O N após digestão sulfúrica foi determinado pelo método de Kjeldahl. Após digestão nítrico-perclórica o fósforo foi determinado por colorimetria; o enxofre por turbimetria; o potássio por fotometria de chama e o cálcio, cobre, ferro, magnésio, manganês e zinco por espectrofotometria de absorção atômica. O boro, após incineração foi determinado por colorimetria (Malavolta *et al.* 1989).

Os teores de macronutrientes foram expressos em g kg⁻¹ e os de micronutrientes em mg kg⁻¹. As quantidades de cada nutriente no material analisado (kg ha⁻¹ ano⁻¹ ou kg ha⁻¹) foram obtidas a partir da multiplicação do peso da massa seca pela concentração do elemento.

3.8 Análise Estatística

A partir dos dados obtidos foram calculados os valores médios mensais e anuais e os seus respectivos desvios padrões das concentrações e quantidades de serapilheira produzida (total e frações) e acumulada, bem como, o retorno de nutrientes ao solo pelos dois compartimentos. Foram, também, calculados a porcentagem de contribuição de cada fração na serapilheira produzida. Os cálculos foram realizados conforme Lopes *et al.* (2002).

Para testar a ocorrência de diferenças estatísticas no solo, na produção anual e mensal de serapilheira, nos estoques de serapilheira, bem como, na composição química da serapilheira foram realizados testes de comparações de médias (análise de variância ANOVA e teste t de Student) conforme descritos em Zar (1999). Nos casos em que não houve normalidade dos dados, foi adotada a estatística não paramétrica (Kruskall Wallis e teste Mann-Whitney). Os dados de solo foram reunidos, independente da profundidade, para a comparação entre as áreas.

Para avaliar a influência de fatores climáticos no processo de produção de serapilheira ao longo dos quatro anos (2008 a 2012), para ambas as áreas (Instituto de Botânica e Cientec) foi calculada, conforme Zar (1999), a matriz de correlação de Pearson entre produção de serapilheira e as variáveis climáticas: temperatura média, mínima e máxima mensal; precipitação pluviométrica mensal; umidade relativa; radiação solar e velocidade média, mínima e máxima do vento.

4 RESULTADOS

4.1 Solo

O solo das áreas são muito ácidos ($\text{pH} < 4,3$), extremamente álicos ($m > 50\%$) e distróficos ($\text{SB} < 50\%$) (Tabelas 4 e 5). Com características semelhantes, o solo das duas áreas, diferenciaram-se, apenas, quanto aos teores de matéria orgânica ($17\text{-}63 \text{ g dm}^{-3}$), nitrogênio ($1,5\text{-}3,5 \text{ g dm}^{-3}$), enxofre ($8\text{-}35 \text{ mg dm}^{-3}$), acidez potencial ($15\text{-}33 \text{ cmol dm}^{-3}$) e zinco ($1,5\text{-}3,6 \text{ mg dm}^{-3}$), os quais foram maiores para a área do IBt. Para o zinco, os valores foram inclusive significativamente maiores no IBt.

Observou-se redução nos conteúdos de praticamente todos os atributos analisados com o avanço em profundidade, exceto o enxofre e a saturação em bases (Tabelas 4 e 5).

Poucas diferenças foram encontradas para os cátions trocáveis. Na área do CT, entretanto, os maiores teores de cálcio e magnésio na superfície acarretaram valores significativamente maiores de saturação por bases (Tabela 4).

Os teores de matéria orgânica variaram entre $17,0\text{-}63,0 \text{ g dm}^{-3}$ no IBt e entre $15,0\text{-}41,0 \text{ g dm}^{-3}$ no CT. Nestas condições, ocorre uma alta CTC em função do aumento de cargas negativas no solo, conforme observado nas áreas ($27,0 - 33,5 \text{ cmol dm}^{-3}$).

A baixa relação C/N encontrada para as áreas (< 11) demonstra uma alta decomposição da matéria orgânica na floresta estudada, principalmente na área do CienTec.

O enxofre variou entre as profundidades, passando de $4,0\text{-}8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ na camada de 10 cm para $26,0\text{-}35,0 \text{ mg dm}^{-3}$ na de 40 cm. Assim, como o enxofre, os teores de ferro variaram em profundidade, principalmente para a área do CienTec, passando de 301 mg dm^{-3} na superfície para 74 mg dm^{-3} na profundidade de 40 cm (Tabela 5). Maiores teores ocorreram na camada 10-20 cm na área do Instituto de Botânica.

Com relação à granulometria, observa-se que ambas as áreas têm textura argilosa, apesar dos teores de silte terem sido significativamente maiores no IBt e os de areia significativamente maiores no CT.

Tabela 4. Características químicas do solo nas áreas estudadas do Instituto de Botânica e do Parque Cientec no PEFI, São Paulo, SP (média ± desvio padrão, n = 3)

Prof. cm	pH CaCl ₂	MO mg dm ⁻³	Ntot mg dm ⁻³	C/N	P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca mg dm ⁻³	Mg mg dm ⁻³	Al cmol dm ⁻³	H+Al cmol dm ⁻³	SB cmol dm ⁻³	CTC cmol dm ⁻³	m %	V %
Instituto de Botânica															
0-10	3,2 ± 0,1	63 ± 11	3,5 ± 0,7	10,6 ± 1,7	5,0 ± 1,0	8,0 ± 1,0	0,11 ± 0,02	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1	3,4 ± 0,2	33,1 ± 4,4	0,37 ± 0,14	33,5 ± 4,5	90 ± 2,7	1,1 ± 0,2
10-20	3,3 ± 0,1	38 ± 8	1,9 ± 0,4	11,2 ± 1,5	3,0 ± 0,0	12,0 ± 4,6	0,08 ± 0,01	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	2,8 ± 0,3	22,6 ± 2,4	0,28 ± 0,01	22,9 ± 2,4	91 ± 1,0	1,2 ± 0,1
20-40	3,5 ± 0,1	17 ± 1	1,5 ± 0,1	6,7 ± 0,5	2,7 ± 0,6	35,0 ± 5,2	0,05 ± 0,00	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	2,3 ± 0,2	15,0 ± 0,4	0,25 ± 0,00	15,2 ± 0,4	90 ± 0,6	1,6 ± 0,0
Parque Cientec															
0-10	3,3 ± 0,1	41 ± 13	2,9 ± 0,1	10,1 ± 1,1	6,0 ± 1,0	4,0 ± 1,7	0,12 ± 0,01	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	3,2 ± 0,2	26,5 ± 3,0	0,52 ± 0,01	27,0 ± 3,0	86 ± 0,9	1,9 ± 1,4*
10-20	3,4 ± 0,1	25 ± 2	1,8 ± 0,1	8,2 ± 0,4	3,7 ± 0,6	5,7 ± 2,1	0,07 ± 0,02	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	3,0 ± 0,3	19,9 ± 1,7	0,27 ± 0,02	20,2 ± 1,7	92 ± 0,5	1,4 ± 0,1*
20-40	3,6 ± 0,1	15 ± 1	1,5 ± 0,1	5,9 ± 0,7	2,7 ± 0,6	26,0 ± 2,6	0,05 ± 0,01	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	2,1 ± 0,2	15,3 ± 5,2	0,25 ± 0,01	15,6 ± 5,2	90 ± 0,3	1,6 ± 0,5*

* indica nível de significância de $p < 0,05$ na comparação entre as áreas estudadas. MO (matéria orgânica), Ntot (nitrogênio total), C/N (relação Carbono/Nitrogênio), P (fósforo), S (enxofre), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Al (alumínio), H+Al (acidez potencial), SB (soma de bases), CTC (capacidade de troca de cátions), m% (saturação em alumínio), V% (saturação em bases).

Tabela 5. Micronutrientes, granulometria e textura do solo nas áreas estudadas do Instituto de Botânica e do Parque Cientec no PEFI, São Paulo, SP (média ± desvio padrão, n = 3)

Prof. Cm	B mg dm ⁻³	Cu mg dm ⁻³	Fe mg dm ⁻³	Mn mg dm ⁻³	Zn mg dm ⁻³	Areia g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	Textura
Instituto de Botânica									
0-10	0,38 ± 0,08	2,5 ± 0,1	362 ± 6	3,0 ± 1,5	3,6 ± 0,4**	439 ± 23	168 ± 11***	393 ± 14	argilosa
10-20	0,31 ± 0,06	1,8 ± 0,3	412 ± 94	4,5 ± 2,7	2,5 ± 0,3**	468 ± 28	147 ± 19***	385 ± 15	argilosa
20-40	0,38 ± 0,07	0,7 ± 0,2	123 ± 25	2,1 ± 0,4	1,5 ± 0,4**	449 ± 19	167 ± 30***	384 ± 29	argilosa
Parque Cientec									
0-10	0,35 ± 0,01	2,4 ± 0,3	301 ± 179	4,3 ± 3,4	1,7 ± 0,9	535 ± 65***	89 ± 51	376 ± 29	argilosa
10-20	0,23 ± 0,01	2,0 ± 0,1	288 ± 23	3,7 ± 1,0	1,2 ± 0,2	540 ± 28***	84 ± 14	376 ± 15	argilosa
20-40	0,38 ± 0,13	1,0 ± 0,2	74 ± 21	2,3 ± 1,0	0,9 ± 0,1	515 ± 12***	84 ± 8	401 ± 14	argilosa

** e *** indicam nível de significância de $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente na comparação entre as áreas estudadas. B (boro), Cu (cobre), Fe (ferro), Mn (manganês), Zn (zinco)

4.2 Produção de serapilheira

A Figura 9 e as Tabelas 6 e 7 mostram a produção da serapilheira ao longo de quatro anos (outubro/2008 a setembro/2012) para dois trechos com diferentes dominâncias do bambu *A. aristulata* na floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga.

A produção total anual de serapilheira na floresta do PEFI variou entre os trechos estudados, sendo significativamente maior no trecho mais preservado ($8315 \pm 1495 \text{ kg ha}^{-1}$) do que no trecho com dominância do bambu no subosque ($6770 \pm 1122 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 6).

De maneira geral, em quase todos os meses a produção de serapilheira foi maior no IBt que no CT, sendo muitas destas diferenças estatisticamente significativas (Figura 10). Das 45 coletas realizadas, em apenas 8 meses o CienTec superou a produção do Botânico, as quais ocorreram, principalmente, nos meses de outubro/novembro, com significância apenas na amostragem realizada em 25/10/2010.

Embora tenha ocorrido variação entre a maior produção ocorrida no terceiro ano (out/2010 a set/2011) e a menor no segundo ano (Tabela 7), não houve diferenças significativas nas quantidades produzidas ao longo dos anos, dentro de cada área ou mesmo entre os trechos estudados, com exceção da fração flores.

As áreas apresentaram deposição semelhante de material entre os anos. Apenas as frações flores e frutos/sementes apresentaram, em alguns meses, picos distintos entre as áreas (Figura 10).

Ao longo destes quatro anos de coleta observou-se uma sazonalidade na deposição da serapilheira, com picos ocorrendo entre novembro e dezembro, no período úmido. Enquanto a menor produção para ambos os locais ocorreu no período seco entre os meses de maio a julho.

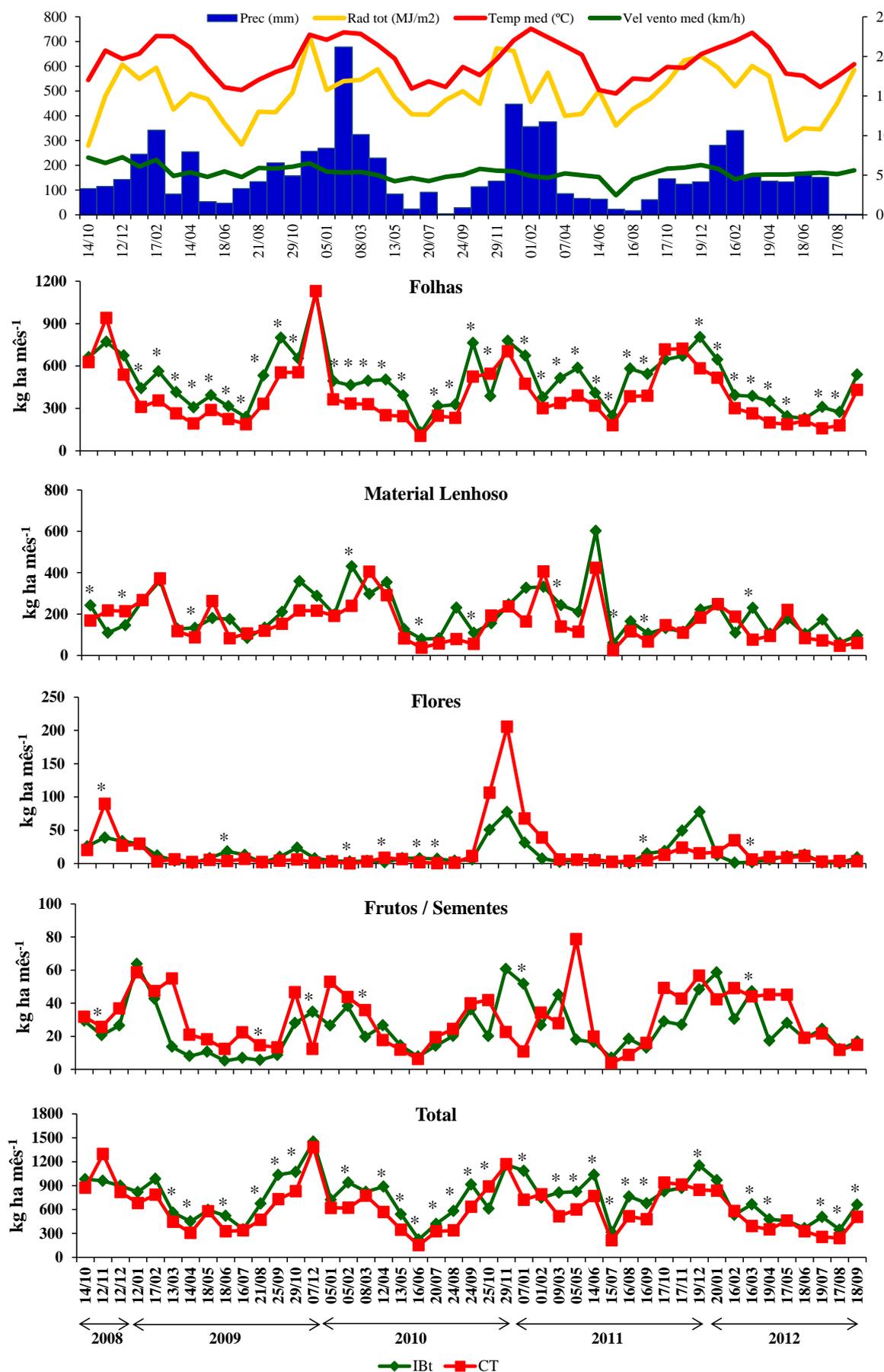


Figura 10. Variáveis climáticas e deposição da serapilheira (total e frações) em duas áreas do PEFI, São Paulo, SP durante o período de 2008-2012 (n = 30).

*Significância de $p < 0,05$.

Tabela 6. Produção anual (kg ha^{-1}) e contribuição (%) das frações da serapilheira em duas áreas do PEFI com diferentes graus de dominância de *A. aristulata* durante o período de 2008-2012 (média \pm desvio padrão, $n = 4$)

Frações da Serapilheira Produzida	Instituto de Botânica (IBt) sem bambu dominante	Parque CienTec (CT) com bambu dominante
Folhas	5650 \pm 814 **	4341 \pm 713
Lenhosas	2185 \pm 1218	1831 \pm 1074
Flores	170 \pm 234	201 \pm 336
Frutos/Sementes	265 \pm 285	338 \pm 366
Miscelânea	50 \pm 58	59 \pm 56
Serapilheira Total	8315 \pm 1495 *	6770 \pm 1122

* e ** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente, para comparação entre locais dentro da mesma fração da serapilheira.

A fração foliar foi dominante e determinou a curva de deposição com uma participação em 64-68% da serapilheira total, seguida de material lenhoso (26-27%), frutos e sementes (3,3-5,1%), flores (2,1-3,0%) e miscelânea (0,6-0,9%) (Tabela 6).

A fração foliar foi a única que apresentou diferença significativa entre as áreas, com maior deposição no IBt ($5650 \pm 814 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Isto é ressaltado pelas diferenças significativas entre os meses, a qual em todos os casos, excetuando-se 25/10/2010, foram maiores na área do Botânico. Apesar disto, não ocorreram diferenças entre os anos, quando se realizou comparação para o mesmo local e entre áreas. A contribuição da fração folhas variou de 65 a 70% para a área do Instituto de Botânica, enquanto para o Parque CienTec de 61 a 67% (Tabela 7), sendo maiores no último ano de amostragem.

A maior queda de folhas ocorreu nos meses de novembro e dezembro. O maior pico foi observado em 07/12/09, em ambas as áreas, e coincidiu com a maior radiação e velocidade do vento. Por outro lado, período de menor produção abrangeu os meses de junho e julho. O menor pico ocorreu em 16/06/10, o qual esteve associado a menor velocidade do vento e baixa precipitação estimada para todo o período de estudo (Figura 10).

Tabela 7. Produção anual (kg ha^{-1}) e contribuição (%) das frações da serapilheira em duas áreas do PEFI durante o período de 2008-2012 (média \pm desvio padrão, n = 12)

Anos de estudo	Folhas		Lenhosa		Flores		Frutos/Sementes		Miscelânea		Total
Instituto de Botânica											
2008-2009	5944 \pm 944	70%	2086 \pm 1378	24%	200 \pm 233	2,3%	210 \pm 156	2,5%	116 \pm 69	1,4%	8556 \pm 1803
2009-2010	5772 \pm 892	67%	2545 \pm 852	29%	82 \pm 104	0,9%	222 \pm 341	2,6%	31 \pm 77	0,4%	8651 \pm 1354
2010-2011	5356 \pm 547	65%	2394 \pm 1615	29%	186 \pm 270	2,3%	271 \pm 233	3,3%	27 \pm 45	0,3%	8233 \pm 1614
2011-2012	5510 \pm 861	70%	1713 \pm 1027	22%	213 \pm 330	2,7%	358 \pm 409	4,6%	26 \pm 40	0,3%	7821 \pm 1211
Parque CienTec											
2008-2009	4600 \pm 734	63%	2073 \pm 1636	28%	191 \pm 256 a	2,6%	328 \pm 384	4,5 %	105 \pm 51	1,4%	7297 \pm 1345
2009-2010	4301 \pm 691	65%	1891 \pm 599	29%	41 \pm 81 b	0,6%	307 \pm 361	4,7%	41 \pm 40	0,6%	6581 \pm 1086
2010-2011	4126 \pm 579	61%	1888 \pm 1210	28%	420 \pm 728 a	6,2%	283 \pm 321	4,2%	31 \pm 46	0,5%	6747 \pm 1015
2011-2012	4338 \pm 849	67%	1474 \pm 850	23%	151 \pm 27 a	2,3%	433 \pm 397	6,7%	59 \pm 86	0,9%	6455 \pm 1041

* Letras diferentes representam $p < 0,05$ na comparação entre anos para a mesma fração.

A queda de material lenhoso variou de $1831 \pm 1074 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no CT a $2185 \pm 1218 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na área do IBt, sem diferenças significativas entre as áreas. Entretanto, em alguns meses, excetuando o de novembro/2008, a produção foi significativamente maior na floresta mais preservada do PEFI. A contribuição desta fração variou de 22 a 29% no trecho sem bambu dominante, enquanto no trecho com bambu de 23 a 28%. Na variação entre os anos, menor produção ocorreu no quarto ano (out/2011 a set/2012) para ambas as áreas, enquanto a maior produção no segundo ano no Botânico e no primeiro ano no Cientec (Tabela 7). As áreas apresentaram o mesmo pico de produção no período de janeiro e fevereiro, contudo, o maior depósito ocorreu no mês de 14/06/2011 (603 ± 135 e $423 \pm 423 \text{ kg ha}^{-1}$), para o IBt e CT, respectivamente, que pode estar associado a maior sequência de dias secos (27) observada durante todo o período de estudo (Figura 10).

Maior produção de flores ocorreu para a área do CT ($201 \pm 336 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) quando comparada ao IBt ($170 \pm 234 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Tabela 6). A única diferença existente entre os anos estudados ocorreu para as flores no CT, sendo a produção significativamente menor no segundo ano (2009-2010) em relação aos demais (Tabela 7). A contribuição desta fração apresentou variação entre os anos estudados, sendo maior no CienTec (0,6 a 6,2%) quando comparada ao Botânico (0,9 a 2,7%). No terceiro ano, por exemplo, (27/11/2011) ocorreu alta produção para ambas as áreas, alcançando no CT uma deposição de $205,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Neste ano, muito em função desta superprodução, a fração flores superou a produção dos frutos e sementes.

Assim como a fração flores, a produção da fração frutos/sementes foi maior para o CT ($338 \pm 366 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Houve grande variação na deposição ao longo dos anos, com alta produção em dezembro e fevereiro no IBt, sendo o maior pico em janeiro de 2009 ($63,7 \text{ kg ha}^{-1}$) e entre outubro e fevereiro no Parque CienTec, onde o maior pico foi em maio de 2011 ($78,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Menor produção ocorreu entre junho e setembro para ambas as áreas. No Botânico, a produção, bem como a sua contribuição para o total depositado, foi aumentando ao longo dos anos, passando de 2,5 % ($210 \pm 156 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para 4,6% ($358 \pm 284 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Tabela 7). Diferentes picos de produção foram observados entre as áreas (Figura 10).

Ao realizarmos a análise de correlação de Pearson das frações de serapilheira com as variáveis meteorológicas durante o período de estudo, a velocidade média e máxima do vento e a radiação total foram as variáveis que mais se relacionaram com a deposição do material (Tabela 8).

Tabela 8. Coeficiente de correlação de Pearson entre variáveis climáticas e produção de serapilheira (total e suas frações) entre 2008-2012 na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n=45)

Fração	Rad tot	Prec	Temperatura			Velocidade vento	
			Med	Max	Min	Med	Max
Instituto de Botânica							
Fol	0,58 ***	0,18	0,34	0,34	0,32	0,60 ***	0,57 ***
Mat Len	0,32	0,50 ***	0,36	0,25	0,40	0,28	0,41
Flor	0,17	-0,05	0,74 ***	-0,11	-0,03	0,51 ***	0,28
Fru/Sem	0,55 ***	0,49	0,52 ***	0,47	0,50 ***	0,36	0,42
Total	0,60 ***	0,36	0,42	0,37	0,42	0,62 ***	0,63 ***
Parque Cientec							
Fol	0,50 ***	0,15	0,28	0,29	0,27	0,63 ***	0,55 ***
Mat Len	0,31	0,55 ***	0,51 ***	0,37	0,56 ***	0,48	0,57 ***
Flor	0,19	-0,01	0,16	0,13	0,17	0,31	0,20
Fru/Sem	0,35	0,32	0,49	0,44	0,51 ***	0,37	0,31
Total	0,50 ***	0,35	0,45	0,39	0,45	0,64 ***	0,62 ***

*** indicam, na mesma linha, nível de significância de $p < 0,001$ para comparação entre a fração e os elementos climáticos. Fol (folhas), Mat Len (material lenhoso), Fru/Sem (frutos e sementes), Rad tot (radiação total), Prec (precipitação), Med (média), Min (mínima) e Max (máxima).

A radiação total relacionou-se positivamente com a queda de serapilheira total e foliar para ambas as áreas e com a de frutos/sementes, apenas no IBt. A Figura 9 ressalta este fato, uma vez que os maiores picos de produção estiveram associados à radiação. Por exemplo: os maiores picos de produção de serapilheira verificados em dezembro/2009 (1452 e 1382 kg ha⁻¹) e novembro/2010 (1162 e 1169 kg ha⁻¹) para a área do IBt e CT, respectivamente, estiveram associados à alta radiação total (720 e 672 MJ m⁻²) medida no período. Nestes meses, houve, também, alta velocidade máxima do vento (12,2 km h⁻¹), a qual esteve relacionada positivamente com a fração total e foliar para o IBt e CT, além do material lenhoso nesta última. No mês de menor velocidade média do vento (2,5 km h⁻¹), por exemplo, houve uma das menores deposições para estas frações.

A precipitação relacionou-se positivamente apenas com a queda de material lenhoso. As menores produções foram observadas nos meses de menor precipitação, principalmente em agosto e setembro de 2012, como podemos observar na Figura 9.

A influência das variáveis meteorológicas sobre o material lenhoso foi maior na área do CienTec. A precipitação, as temperaturas mínimas e médias, bem como, a velocidade máxima do vento relacionaram-se positivamente ($r=0,51-0,57$, $p < 0,001$) com esta fração.

A produção de flores correlacionou-se positivamente ($p < 0,001$) com a velocidade do vento e com a temperatura média apenas na floresta mais preservada. Outra diferença entre as áreas ocorreu com a produção de frutos/sementes (Tabela 8). No IBt relacionou-se positivamente com a radiação total e com as temperaturas média e mínima, enquanto no CienTec apenas com a temperatura mínima.

4.2.1 Concentração de nutrientes na serapilheira produzida

A concentração dos nutrientes ao longo dos anos estudados (períodos trimestrais) nas diferentes frações da serapilheira na floresta do PEFI sob diferentes domínios de bambu (IBt e CT) estão nas Figuras 11 a 21 e Tabelas 9 a 14.

Os picos de concentrações dos nutrientes foram variáveis entre as frações. Para a serapilheira total e foliar, na maioria dos casos, maiores teores de todos os elementos ocorreram no período de julho a setembro. Na fração lenhosa, os picos abrangeram o período mais seco (abril a junho), enquanto na fração frutos/sementes o período mais úmido (outubro a março). Em relação às flores, ocorreu uma diferenciação, sendo os teores dos macronutrientes maiores entre julho e setembro, enquanto o dos micronutrientes no período de janeiro e março.

Os teores de nitrogênio (Figura 11 e Tabela 9) foram significativamente maiores, em todas as frações no Parque CienTec, principalmente no último ano de estudo (out/2011 a set/2012). Neste local, as concentrações no material foliar elevaram-se a partir do segundo ano, mantendo-se estáveis nos demais, sendo significativamente menor no primeiro ano ($17,40 \pm 1,96 \text{ g kg}^{-1}$). Pelo contrário, no IBt, a fração foliar apresentou maior concentração no primeiro ano amostrado ($17,29 \pm 0,76 \text{ g kg}^{-1}$) com decaimento ao longo do período ($15,59 \pm 1,20 \text{ g kg}^{-1}$).

Altas concentrações de fósforo nas frações reprodutivas podem ser observadas na Figura 12. Enquanto, os teores são pouco variáveis e mais baixos nas frações folhas ($0,52$ a $0,64 \text{ g kg}^{-1}$) e lenhosa ($0,35$ a $0,44 \text{ g kg}^{-1}$), são maiores e variáveis ao longo dos meses nas frações frutos+sementes ($0,86$ a $1,33 \text{ g kg}^{-1}$) e flores ($0,79$ a $1,58 \text{ g kg}^{-1}$). Decréscimos nos teores de fósforo foram observados no quarto ano, principalmente na floresta do CienTec (Tabela 9).

N (g kg⁻¹)

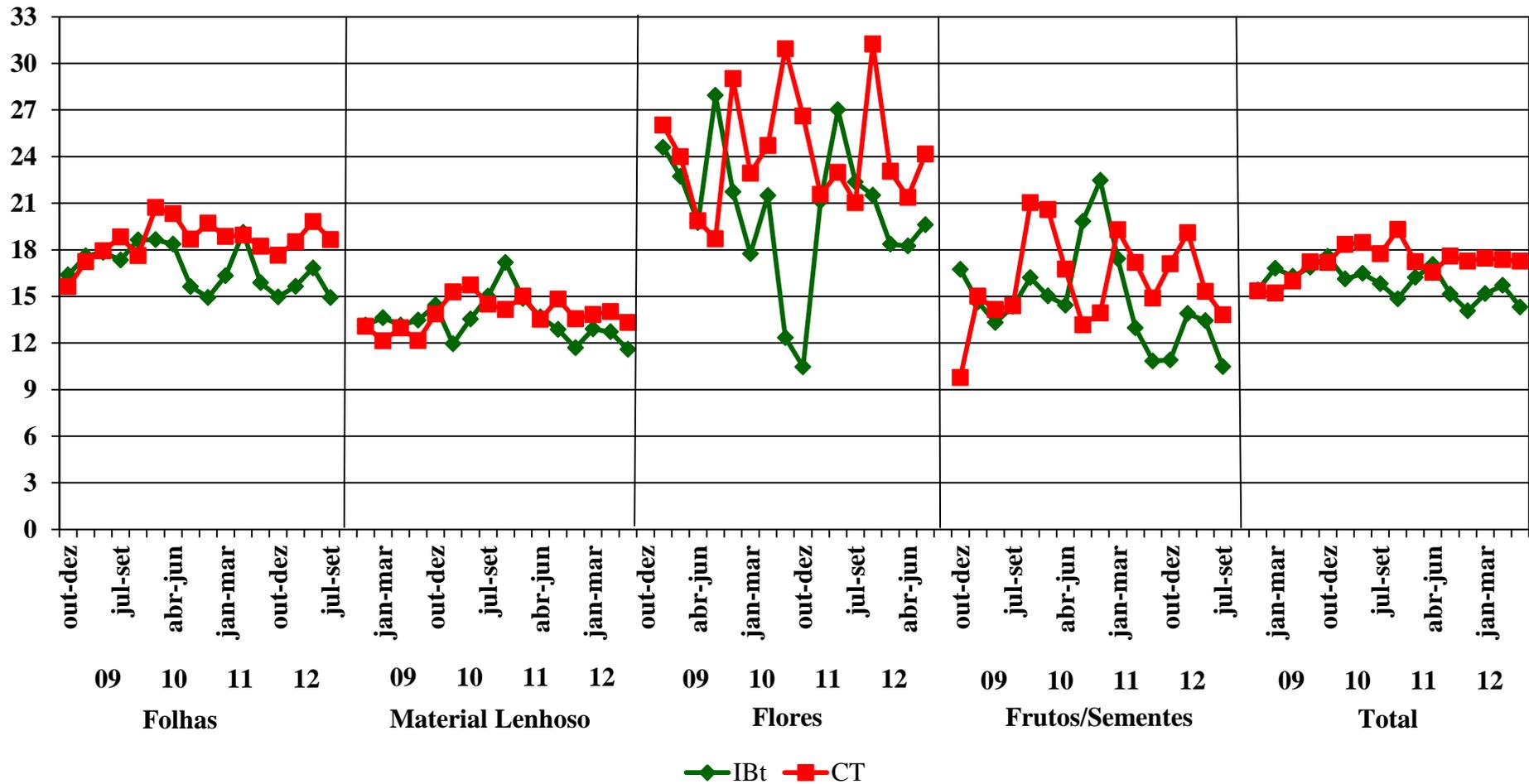


Figura 6. Concentrações trimestrais de nitrogênio (N g kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

P (g kg⁻¹)

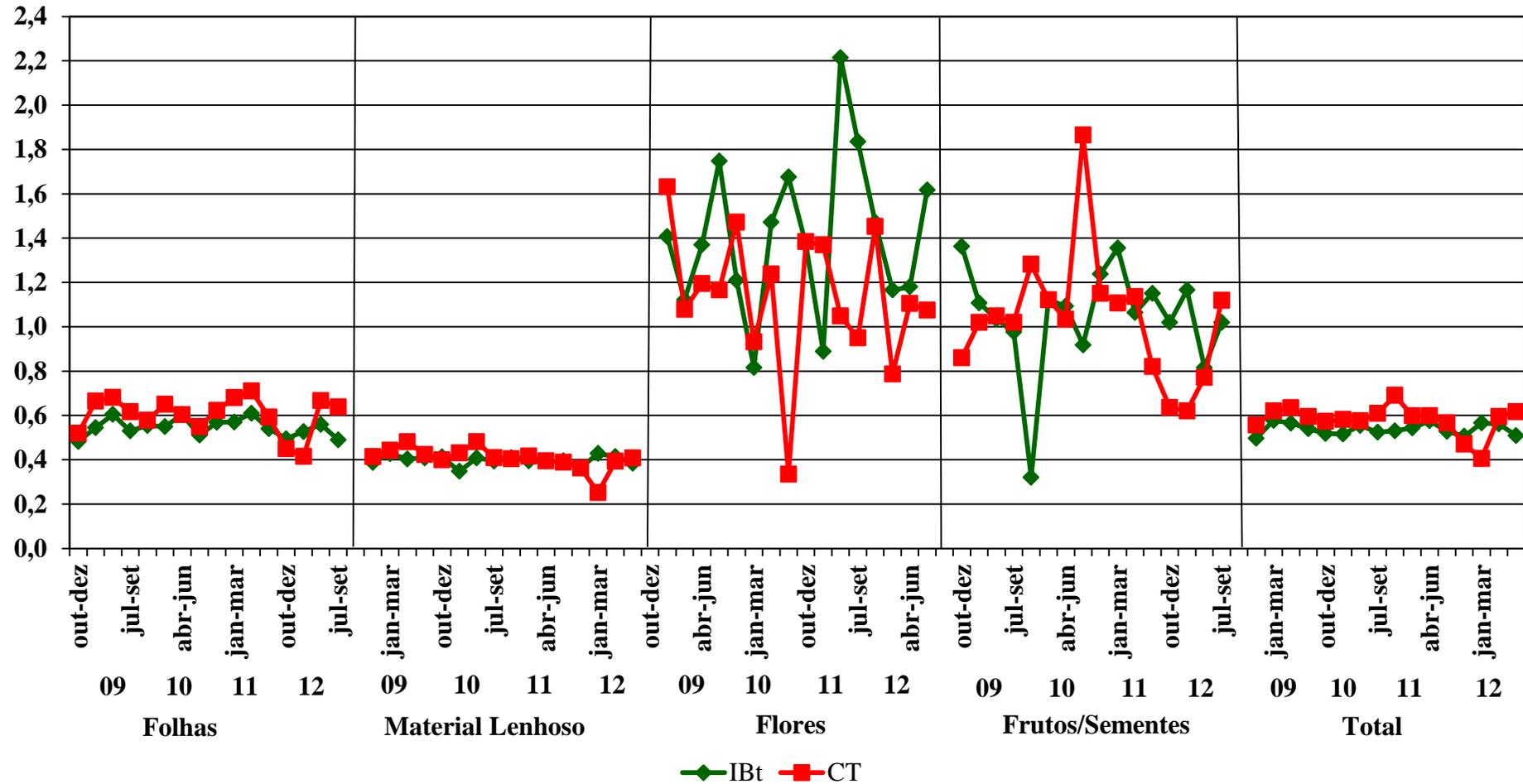


Figura 12. Concentrações trimestrais de fósforo (P g kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

Tabela 9. Estimativa anual média \pm desvio padrão (g kg^{-1}) das concentrações de nitrogênio e fósforo nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Ano	Nitrogênio											
	IBt		CT		IBt		CT					
	Folhas		Material Lenhoso		Flores							
2008/2009	17,29 \pm 0,76	a	17,40 \pm 1,96	b	13,34 \pm 1,04	a	12,58 \pm 1,55	a	23,75 \pm 3,43	a	22,14 \pm 3,44	a
2009/2010	17,74 \pm 1,72	a	19,22 \pm 1,84	a *	13,69 \pm 1,38	a	14,80 \pm 1,45	a	18,33 \pm 4,39	a	26,90 \pm 3,72	a *
2010/2011	16,33 \pm 2,40	ab	18,94 \pm 1,29	a **	14,72 \pm 2,17	a	14,40 \pm 1,66	a	20,24 \pm 6,99	a	23,04 \pm 2,52	a
2011/2012	15,59 \pm 1,20	b	18,66 \pm 1,29	a ***	12,22 \pm 0,93	b	13,68 \pm 1,36	b **	19,43 \pm 1,52	a	24,95 \pm 4,34	a
	Frutos/Sementes		Miscelânea \square		Total							
2008/2009	14,76 \pm 1,44	ab	13,33 \pm 2,39	a	23,20		25,56		16,34 \pm 1,02	a	15,94 \pm 1,61	b
2009/2010	16,37 \pm 2,43	a	17,88 \pm 3,68	a	10,03		26,26		16,53 \pm 1,02	a	17,89 \pm 1,29	a *
2010/2011	15,92 \pm 5,16	ab	16,32 \pm 2,40	a	23,40		26,55		15,65 \pm 1,73	ab	17,82 \pm 1,61	a **
2011/2012	12,17 \pm 1,73	b	16,33 \pm 2,28	a *	24,92		23,94		14,81 \pm 0,93	b	17,34 \pm 0,59	a ***
Ano	Fósforo											
	IBt		CT		IBt		CT					
	Folhas		Material Lenhoso		Flores							
2008/2009	0,54 \pm 0,06	ab	0,62 \pm 0,08	a *	0,41 \pm 0,05	a	0,44 \pm 0,07	a	1,41 \pm 0,26	a	1,20 \pm 0,12	a
2009/2010	0,56 \pm 0,07	ab	0,59 \pm 0,07	a	0,39 \pm 0,04	a	0,43 \pm 0,06	a	1,29 \pm 0,37	a	1,05 \pm 0,16	ab
2010/2011	0,57 \pm 0,06	a	0,64 \pm 0,12	a	0,40 \pm 0,04	a	0,40 \pm 0,07	ab	1,58 \pm 0,57	a	1,01 \pm 0,14	ab
2011/2012	0,52 \pm 0,04	b	0,54 \pm 0,13	a	0,40 \pm 0,05	a	0,35 \pm 0,07	b	1,36 \pm 0,22	a	0,79 \pm 0,23	b
	Frutos/Sementes		Miscelânea \square		Total							
2008/2009	1,12 \pm 0,99	a	1,27 \pm 0,25	a	1,25		1,19		0,54 \pm 0,05	a	0,60 \pm 0,05	a *
2009/2010	0,99 \pm 0,09	a	0,99 \pm 0,49	a	1,24		1,22		0,53 \pm 0,05	a	0,59 \pm 0,06	ab *
2010/2011	0,86 \pm 0,37	a	1,19 \pm 0,22	a	1,17		0,74		0,54 \pm 0,06	a	0,62 \pm 0,08	a *
2011/2012	1,33 \pm 0,37	a *	1,10 \pm 0,27	a	1,34		1,29		0,54 \pm 0,04	a	0,52 \pm 0,10	b

Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística de $p < 0,05$ na comparação entre anos para o mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo ano e fração da serapilheira. \square amostra sem repetição

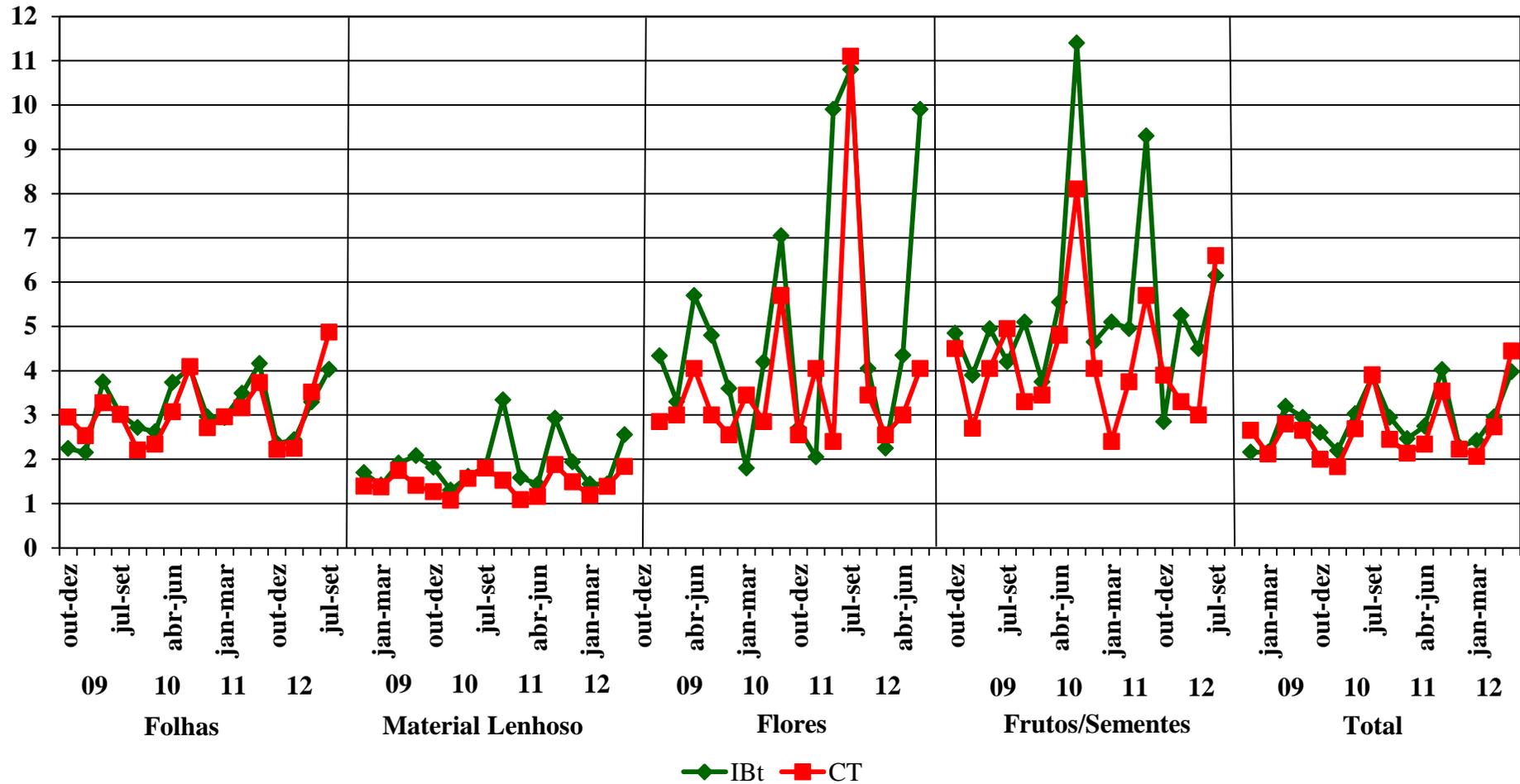
K (g kg⁻¹)

Figura 13. Concentrações trimestrais de potássio (K g kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

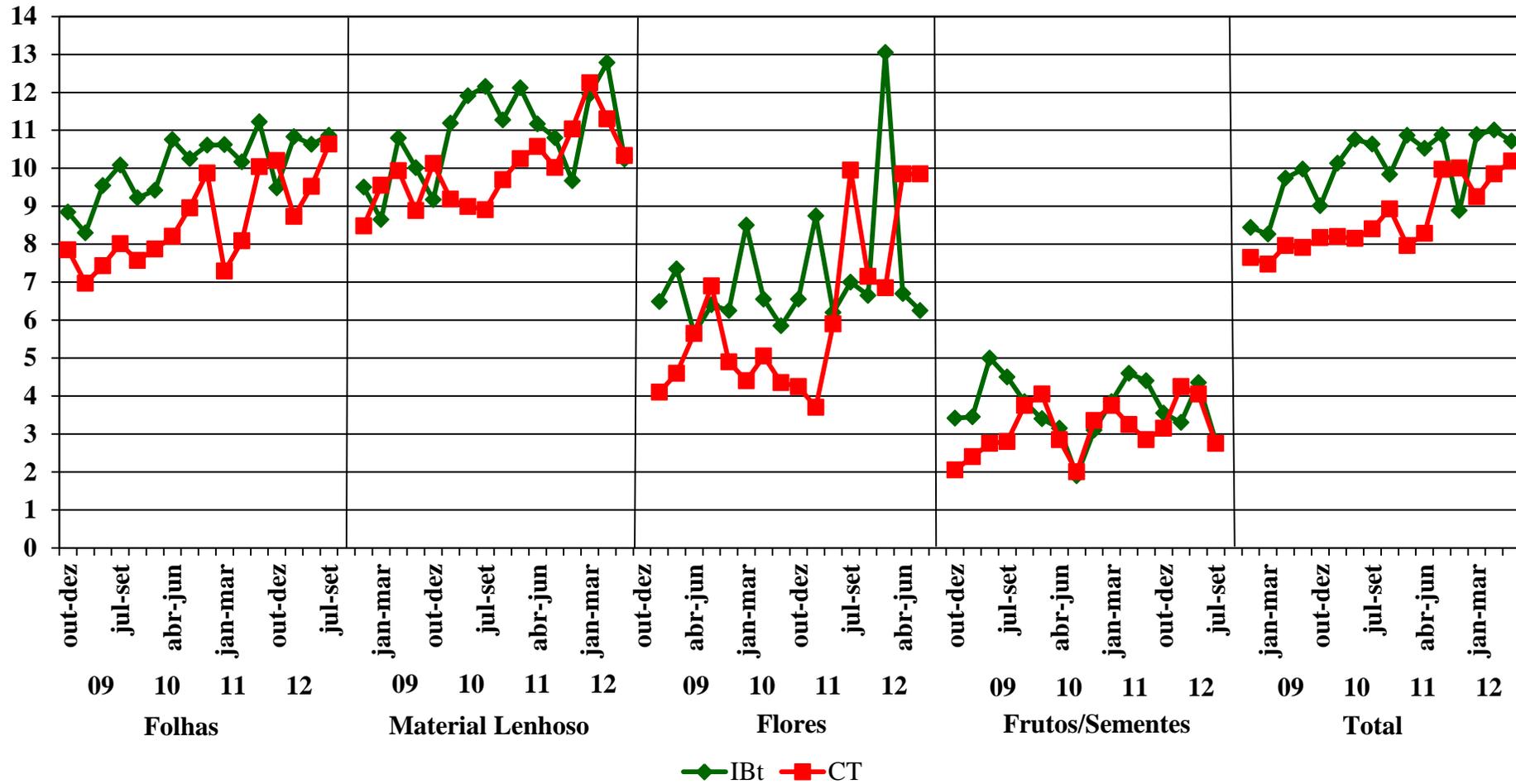
Ca (g kg⁻¹)

Figura 74. Concentrações trimestrais de cálcio (Ca g kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

Tabela 10. Estimativa anual média \pm desvio padrão (g kg^{-1}) das concentrações de potássio e cálcio nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Ano	Potássio											
	IBt		CT		IBt		CT					
	Folhas		Material Lenhoso		Flores		Total					
2008/2009	2,79 \pm 0,70	a	2,94 \pm 0,52	a	1,78 \pm 0,48	a	1,48 \pm 0,33	a	4,53 \pm 1,00	a	3,23 \pm 0,55	a
2009/2010	3,35 \pm 1,10	a	2,98 \pm 1,12	a	1,67 \pm 0,38	a	1,46 \pm 0,46	a	4,16 \pm 2,18	a	3,64 \pm 1,43	a
2010/2011	3,42 \pm 3,03	a	3,16 \pm 0,69	a	2,49 \pm 1,40	a *	1,47 \pm 0,54	a	6,36 \pm 4,63	a	5,03 \pm 4,12	a
2011/2012	3,03 \pm 0,96	a	3,21 \pm 1,38	a	1,84 \pm 0,66	a	1,47 \pm 0,33	a	5,14 \pm 3,31	a	3,26 \pm 0,64	a
	Frutos/Sementes		Miscelânea \square						Total			
2008/2009	4,47 \pm 0,51	a	4,05 \pm 0,97	a	2,45		3,00		2,62 \pm 0,55	a	2,55 \pm 0,49	a
2009/2010	6,45 \pm 3,39	a	4,91 \pm 2,23	a	3,00		1,75		2,99 \pm 0,86	a	2,68 \pm 1,05	a
2010/2011	6,00 \pm 2,21	a	3,98 \pm 1,36	a	2,25		1,55		3,13 \pm 0,90	a	2,69 \pm 0,70	a
2011/2012	4,69 \pm 1,40	a	4,20 \pm 1,64	a	2,55		2,85		2,91 \pm 0,88	a	2,87 \pm 1,15	a
Cálcio												
Ano	IBt		CT		IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores		Total					
2008/2009	9,19 \pm 0,85	c ***	7,57 \pm 0,60	c*	9,74 \pm 1,99	b	9,21 \pm 1,59	a	6,47 \pm 0,70	a	5,31 \pm 1,24	b
2009/2010	9,96 \pm 0,95	bc ***	8,18 \pm 0,75	bc	11,10 \pm 1,74	ab **	9,31 \pm 2,30	a	6,79 \pm 1,18	a *	4,68 \pm 0,35	b
2010/2011	10,71 \pm 0,86	a **	9,05 \pm 1,48	a	11,28 \pm 1,02	a	10,08 \pm 1,92	a	7,13 \pm 1,13	a	5,95 \pm 2,83	ab
2011/2012	10,45 \pm 0,69	ab	9,77 \pm 1,11	ab	11,16 \pm 2,06	ab	11,23 \pm 2,61	a	8,16 \pm 3,26	a	8,43 \pm 1,65	a
	Frutos/Sementes		Miscelânea \square						Total			
2008/2009	4,09 \pm 0,79	a *	2,50 \pm 0,35	b	7,25		6,70		9,10 \pm 1,11	b ***	7,75 \pm 0,55	c
2009/2010	3,08 \pm 0,84	a	3,16 \pm 0,93	ab	8,05		8,40		10,14 \pm 0,99	a ***	8,24 \pm 0,57	b
2010/2011	3,99 \pm 0,67	a	3,30 \pm 0,37	a	8,25		8,60		10,49 \pm 0,78	a ***	8,92 \pm 1,11	ab
2011/2012	3,50 \pm 0,65	a	3,55 \pm 0,72	ab	9,45		8,45		10,37 \pm 1,06	a	9,82 \pm 1,00	a

Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística de $p < 0,05$ na comparação entre anos para o mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo ano e fração da serapilheira. \square amostra sem repetição

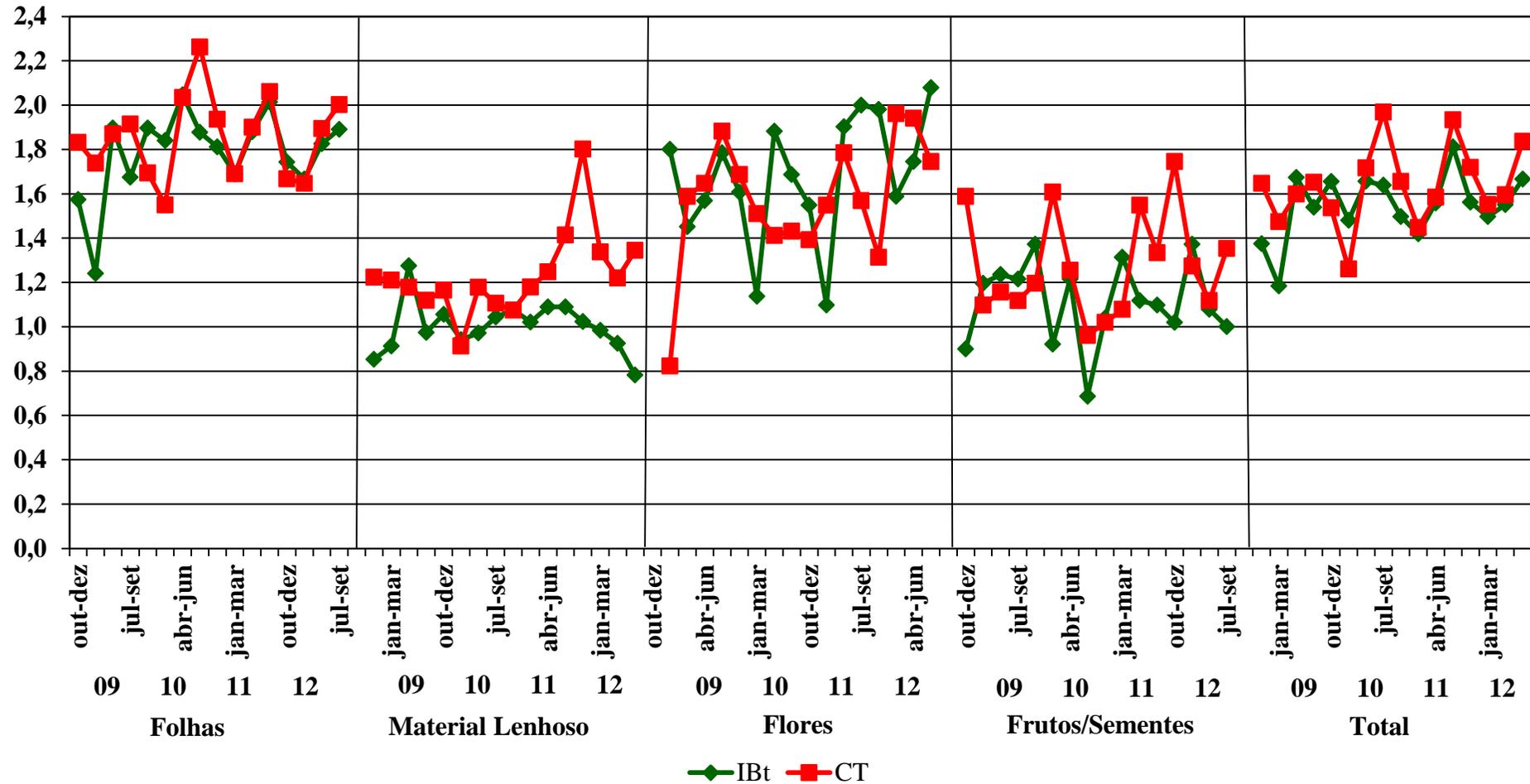
Mg (g kg^{-1})

Figura 85. Concentrações trimestrais de magnésio (Mg g kg^{-1}) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP ($n = 3$)

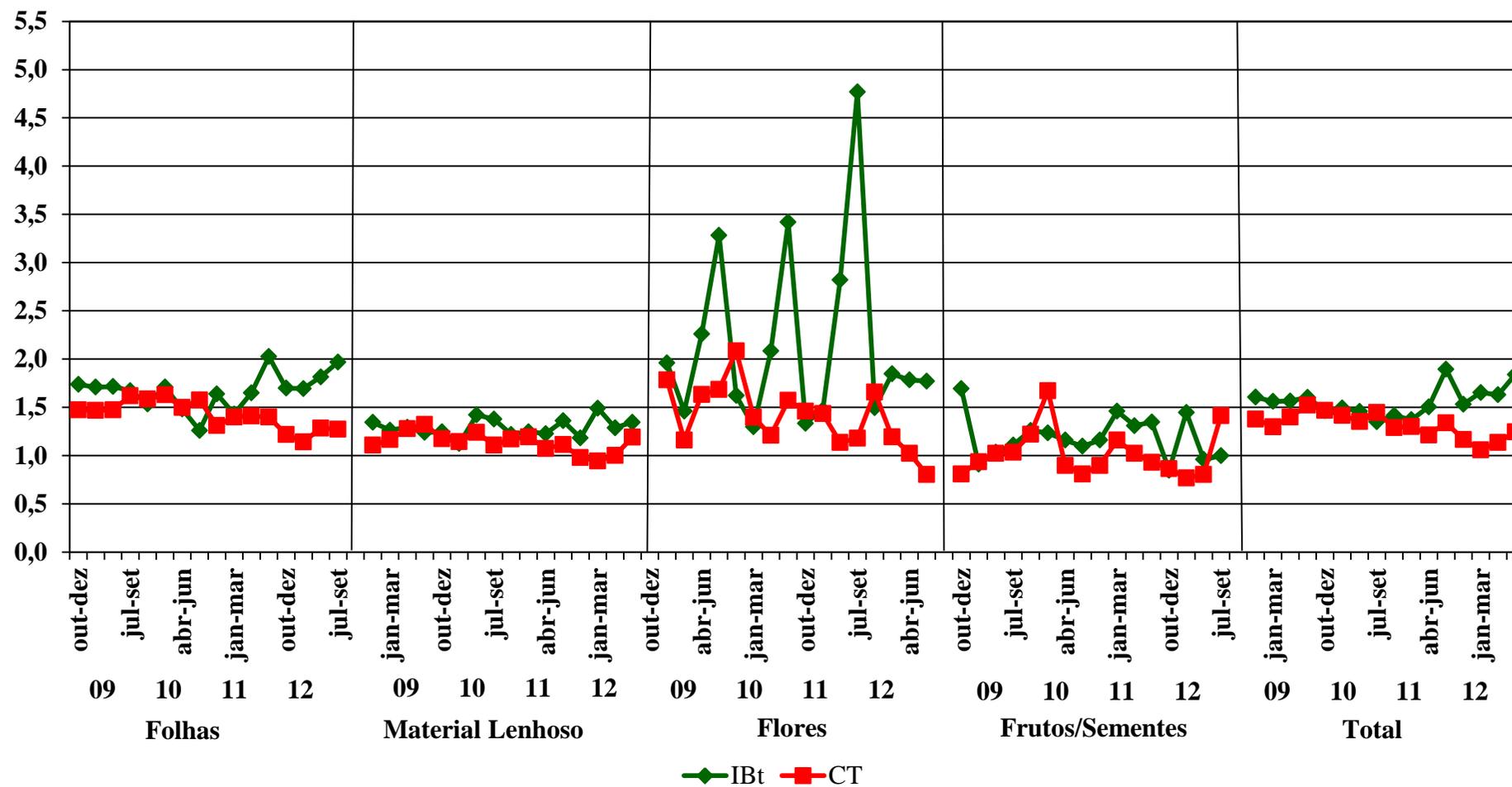
S (g kg⁻¹)

Figura 96. Concentrações trimestrais de enxofre (S g kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

Tabela 11. Estimativa anual média \pm desvio padrão (g kg^{-1}) das concentrações de magnésio e enxofre nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP ($n = 12$)

Ano	Magnésio							
	IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores		Total	
2008/2009	1,60 \pm 0,26 b	1,84 \pm 0,17 a *	1,00 \pm 0,39 b	1,18 \pm 0,15 ab **	1,65 \pm 0,17 b	1,49 \pm 0,46 b		
2009/2010	1,92 \pm 0,23 a	1,92 \pm 0,34 a	1,01 \pm 0,09 ab	1,11 \pm 0,20 b	1,58 \pm 0,32 ab	1,51 \pm 0,13 b		
2010/2011	1,86 \pm 0,16 a	1,92 \pm 0,16 a	1,07 \pm 0,93 a	1,23 \pm 0,20 ab	1,64 \pm 0,41 a	1,57 \pm 0,16 ab		
2011/2012	1,78 \pm 0,12 a	1,80 \pm 0,18 a	0,93 \pm 0,21 ab	1,43 \pm 0,28 a ***	1,85 \pm 0,22 ab	1,74 \pm 0,30 a		
	Frutos/Sementes		Miscelânea \square		Total			
2008/2009	1,14 \pm 0,16 a	1,24 \pm 0,23 a	1,55	1,65	1,44 \pm 0,26 b	1,59 \pm 0,13 a *		
2009/2010	1,05 \pm 0,31 a	1,25 \pm 0,27 a	1,67	1,82	1,62 \pm 0,18 a	1,65 \pm 0,31 a		
2010/2011	1,14 \pm 0,12 a	1,25 \pm 0,24 a	1,76	1,59	1,59 \pm 0,20 a	1,68 \pm 0,22 a		
2011/2012	1,12 \pm 0,17 a	1,37 \pm 0,27 a	1,94	1,76	1,57 \pm 0,10 a	1,68 \pm 0,15 a		
Ano	Enxofre							
	IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores		Total	
2008/2009	1,71 \pm 0,10 a ***	1,51 \pm 0,11 a	1,28 \pm 0,11 a	1,22 \pm 0,13 a	2,24 \pm 0,77 a	1,57 \pm 0,28 a		
2009/2010	1,48 \pm 0,27 b	1,57 \pm 0,12 a	1,31 \pm 0,23 a	1,17 \pm 0,11 a	2,11 \pm 0,93 a	1,57 \pm 0,38 a		
2010/2011	1,71 \pm 0,29 ab *	1,37 \pm 0,12 b	1,27 \pm 0,12 a	1,14 \pm 0,17 a	2,60 \pm 1,59 a	1,30 \pm 0,17 a		
2011/2012	1,79 \pm 0,18 a ***	1,23 \pm 0,09 c	1,33 \pm 0,18 a ***	1,03 \pm 0,14 b	1,72 \pm 0,16 a *	1,17 \pm 0,36 a		
	Frutos/Sementes		Miscelânea \square		Total			
2008/2009	1,19 \pm 0,35 a	0,95 \pm 0,10 a	1,78	1,82	1,58 \pm 0,12 a ***	1,40 \pm 0,12 a		
2009/2010	1,19 \pm 0,07 a	1,15 \pm 0,39 a	2,01	1,82	1,44 \pm 0,16 b	1,42 \pm 0,07 a		
2010/2011	1,32 \pm 0,12 a **	1,00 \pm 0,12 a	2,08	1,66	1,57 \pm 0,26 ab *	1,29 \pm 0,08 b		
2011/2012	1,06 \pm 0,26 a	0,96 \pm 0,30 a	1,80	1,69	1,66 \pm 0,18 a ***	1,15 \pm 0,09 c		

Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística de $p < 0,05$ na comparação entre anos para o mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo ano e fração da serapilheira. \square amostra sem repetição

B (mg kg⁻¹)

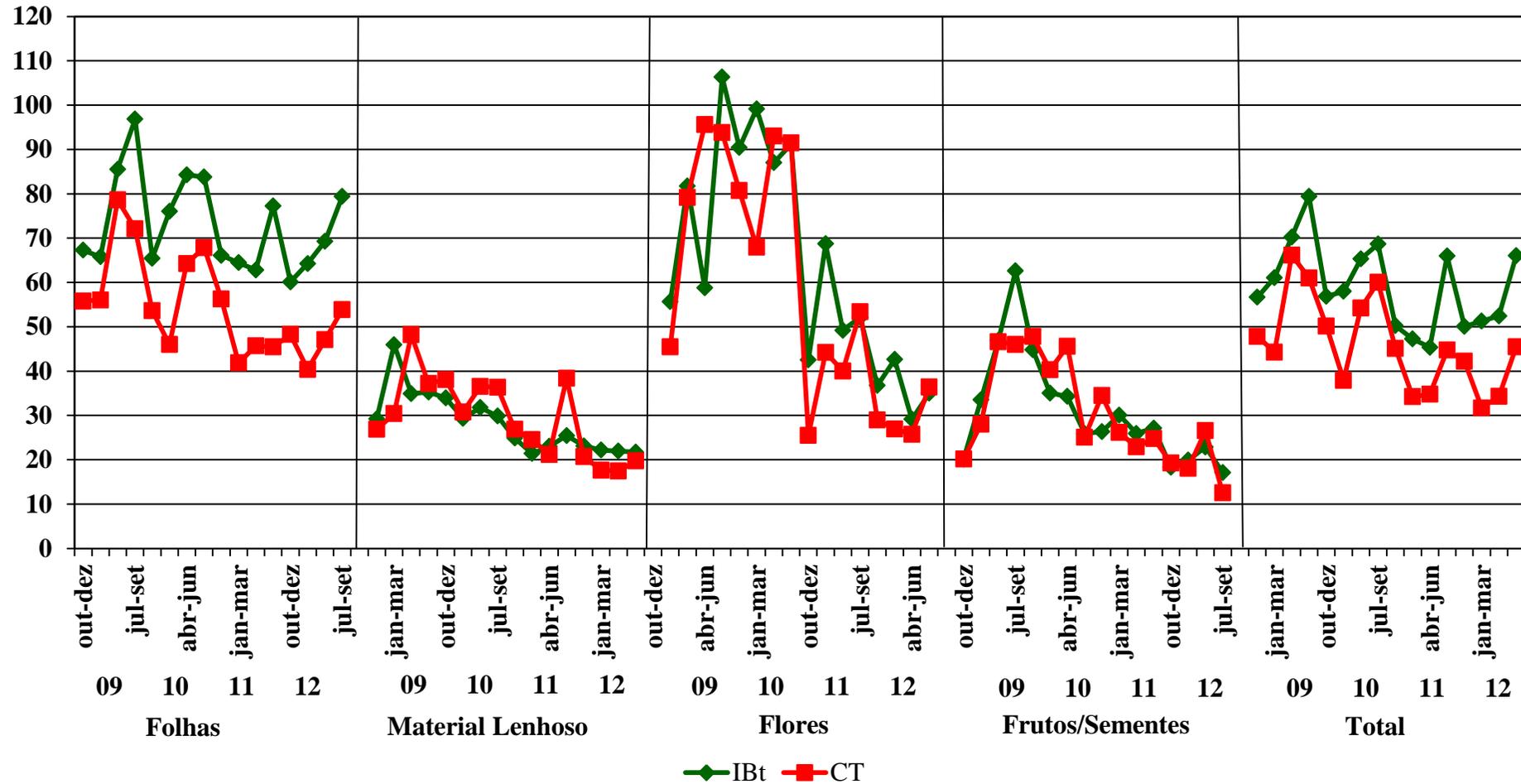


Figura 107. Concentrações trimestrais de boro (B mg kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

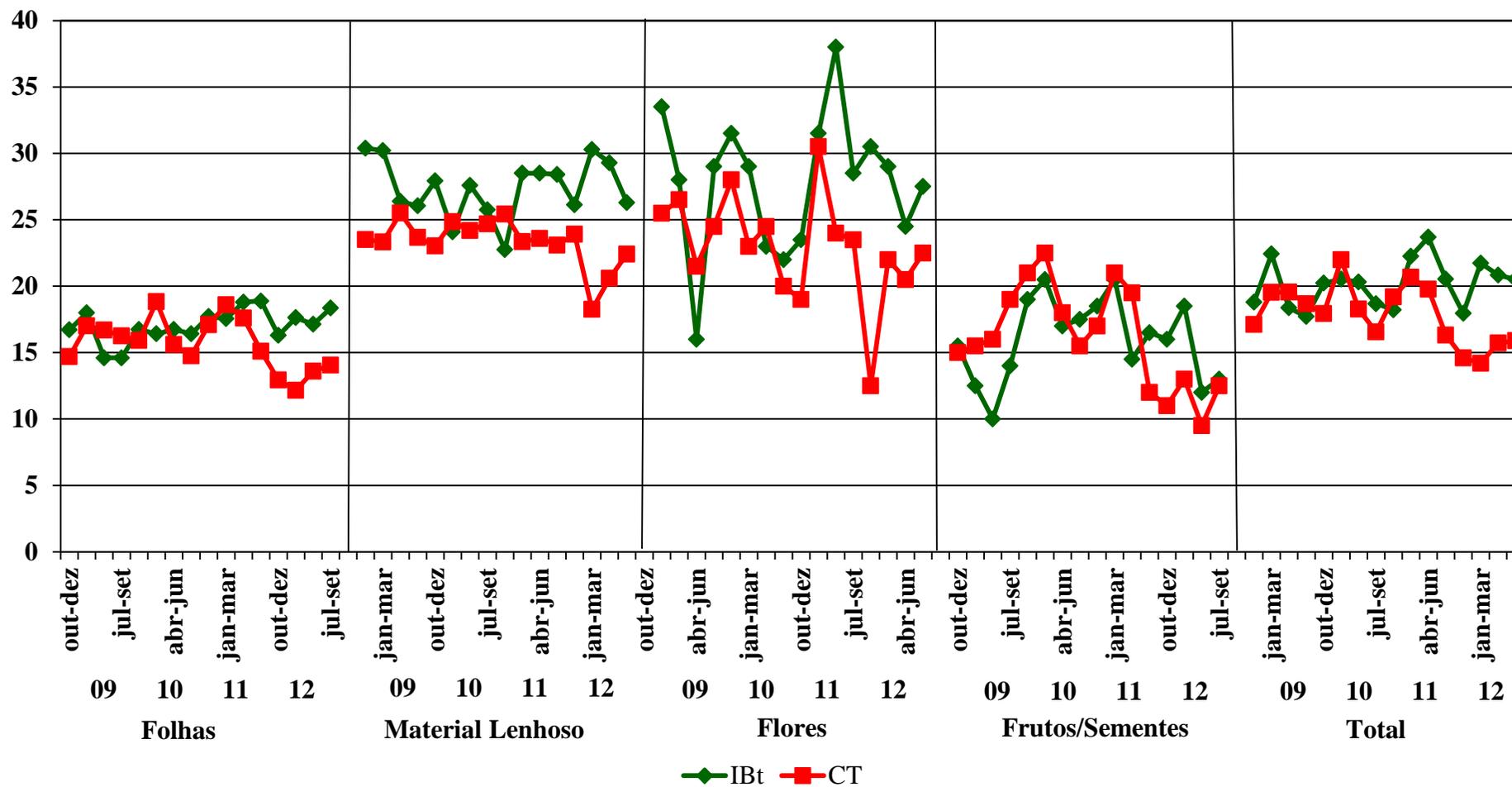
Cu (mg kg⁻¹)

Figura 18. Concentrações trimestrais de cobre (Cu mg kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI (n = 3)

Tabela 12. Estimativa anual média \pm desvio padrão (mg kg^{-1}) das concentrações de boro e cobre nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Ano	Boro											
	IBt		CT		IBt		CT					
	Folhas		Material Lenhoso		Flores							
2008/2009	78,86 \pm 14,71	a *	65,64 \pm 13,70	a	36,34 \pm 17,89	a	35,66 \pm 13,03	ab	75,64 \pm 23,56	ab	78,50 \pm 23,22	a
2009/2010	77,52 \pm 11,22	a **	59,01 \pm 12,58	ab	31,40 \pm 4,65	a	35,86 \pm 7,67	a	91,94 \pm 5,15	a	83,28 \pm 11,59	a
2010/2011	68,46 \pm 8,48	ab ***	48,03 \pm 11,85	bc	23,98 \pm 2,85	b	28,73 \pm 3,66	b	53,14 \pm 11,14	b	40,77 \pm 11,62	b
2011/2012	68,26 \pm 9,22	b ***	47,40 \pm 7,11	c	22,24 \pm 1,07	b *	18,87 \pm 3,66	c	35,89 \pm 5,56	c	29,52 \pm 4,77	b
	Frutos/Sementes		Miscelânea \square		Total							
2008/2009	40,80 \pm 18,18	a	35,20 \pm 13,23	ab	85,41		73,89		66,86 \pm 14,77	a *	54,82 \pm 12,60	a
2009/2010	35,02 \pm 7,73	a	36,69 \pm 10,25	a	82,88		86,03		62,58 \pm 8,84	ac *	51,74 \pm 10,40	a
2010/2011	27,37 \pm 1,87	a	27,09 \pm 5,12	ab	57,75		50,28		53,38 \pm 9,89	bc *	40,76 \pm 11,11	b
2011/2012	19,55 \pm 2,49	b	19,11 \pm 5,77	b	44,69		34,51		54,95 \pm 9,58	c ***	38,41 \pm 8,51	b
Cobre												
Ano	IBt		CT		IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores							
2008/2009	15,97 \pm 2,48	b	16,16 \pm 1,52	a	28,26 \pm 2,56	a ***	24,00 \pm 2,00	a	26,63 \pm 7,48	a	24,50 \pm 2,16	a
2009/2010	16,59 \pm 0,64	b	16,04 \pm 2,10	a	26,54 \pm 2,76	a *	24,13 \pm 2,04	a	26,38 \pm 4,61	a	23,88 \pm 3,33	a
2010/2011	18,25 \pm 1,96	a	16,90 \pm 1,74	a	26,75 \pm 3,67	a	23,95 \pm 3,40	ab	30,38 \pm 6,06	a	24,25 \pm 4,73	a
2011/2012	17,35 \pm 1,21	a ***	13,19 \pm 1,17	b	28,01 \pm 2,52	a ***	21,30 \pm 3,09	b	27,88 \pm 2,56	a *	19,38 \pm 4,66	a
	Frutos/Sementes		Miscelânea \square		Total							
2008/2009	26,63 \pm 7,48	a	16,38 \pm 1,80	a	40,00		37,50		19,33 \pm 2,47	a	18,72 \pm 1,38	a
2009/2010	26,38 \pm 4,61	a	19,25 \pm 3,12	a	42,00		37,00		19,88 \pm 1,44	a	18,39 \pm 2,20	a
2010/2011	30,38 \pm 6,06	a	17,38 \pm 3,94	a	48,50		32,00		20,81 \pm 2,78	a *	18,74 \pm 2,05	a
2011/2012	27,88 \pm 2,56	a	11,50 \pm 1,58	b	41,50		32,50		20,26 \pm 1,99	a ***	15,10 \pm 1,24	b

Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística de $p < 0,05$ na comparação entre anos para o mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo ano e fração da serapilheira. \square amostra sem repetição

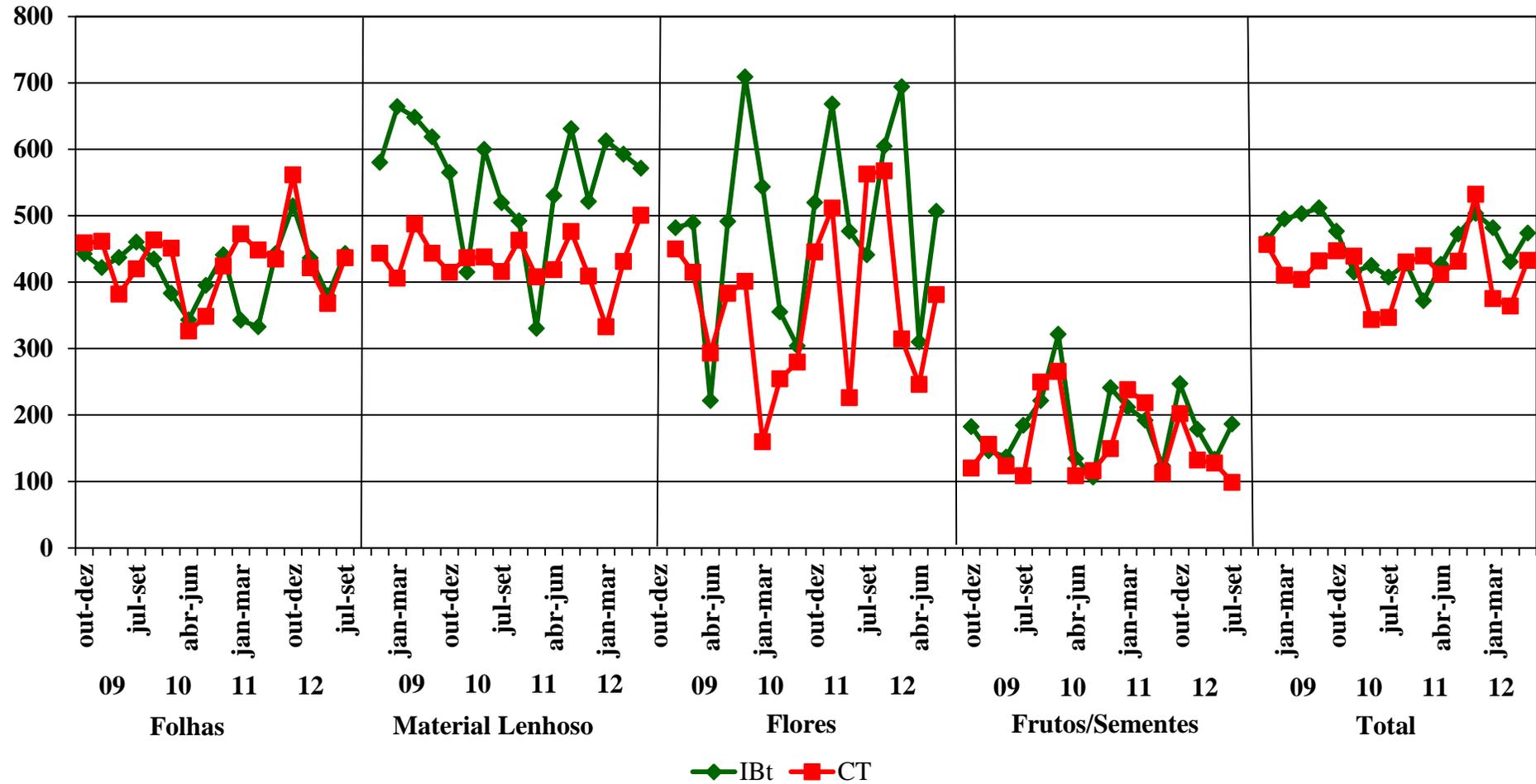
Fe (mg kg⁻¹)

Figura 11. Concentrações trimestrais de ferro (Fe mg kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

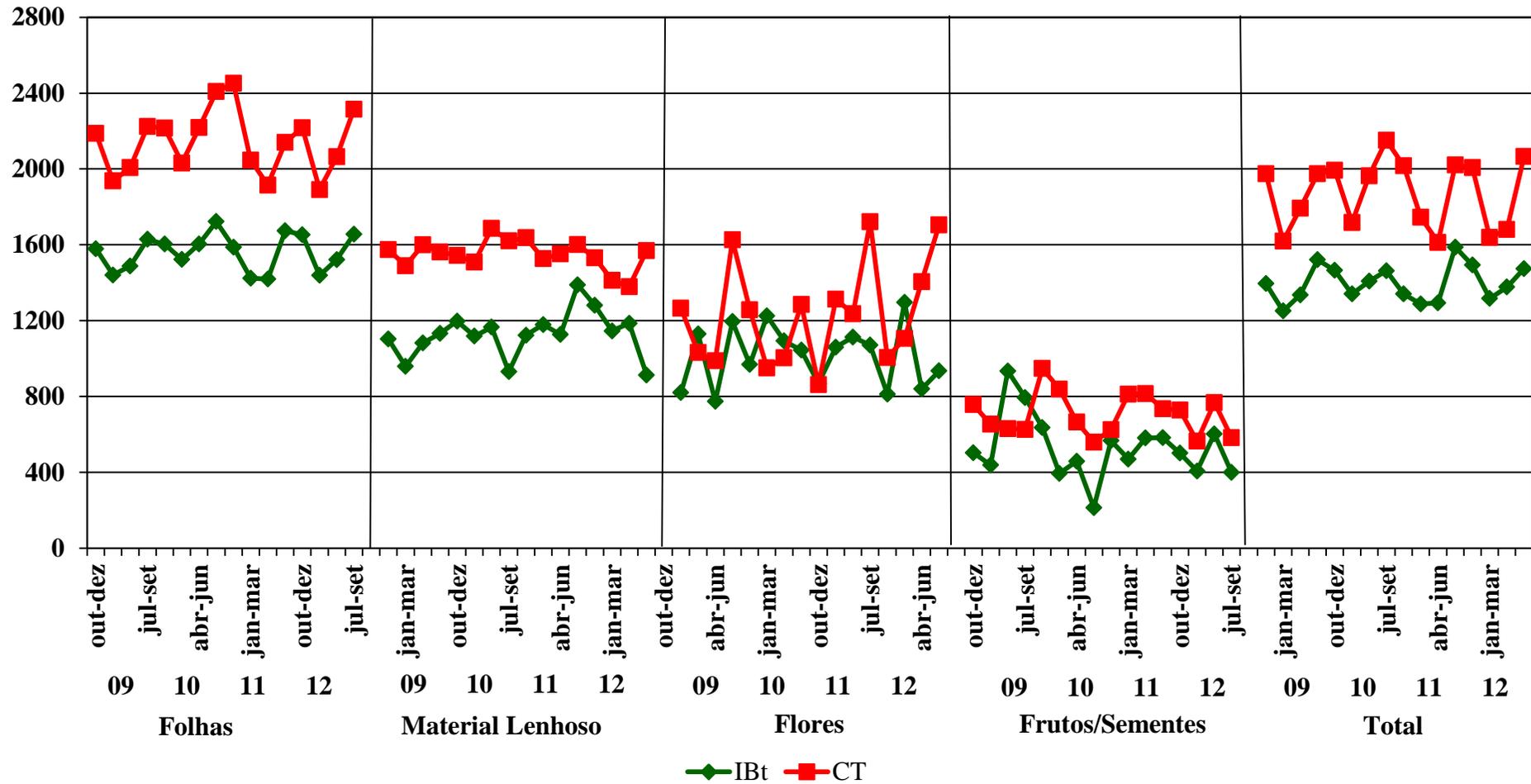
Mn (mg kg⁻¹)

Figura 12. Concentrações trimestrais de manganês (Mn mg kg⁻¹) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

Tabela 13. Estimativa anual média \pm desvio padrão (mg kg^{-1}) das concentrações de ferro e manganês nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Ferro												
Ano	IBt		CT		IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores		Frutos/Sementes		Miscelânea \square		Total	
2008/2009	441 \pm 39	a	431 \pm 68	a	628 \pm 110	a ***	445 \pm 79	a	421 \pm 133	a	385 \pm 67	a
2009/2010	390 \pm 42	b	392 \pm 69	a	535 \pm 101	b **	425 \pm 63	a	478 \pm 185	a	274 \pm 99	a
2010/2011	400 \pm 71	ab	442 \pm 54	a	509 \pm 160	ab	447 \pm 75	a	526 \pm 100	a	436 \pm 148	a
2011/2012	443 \pm 62	a	447 \pm 111	a	575 \pm 71	ab ***	418 \pm 83	a	529 \pm 165	a	377 \pm 138	a
2008/2009	162 \pm 25	a	127 \pm 20	a	1567		1124		493 \pm 38	a ***	426 \pm 41	a
2009/2010	196 \pm 97	a	185 \pm 84	a	1728		1045		433 \pm 42	b	390 \pm 58	a
2010/2011	192 \pm 50	a	179 \pm 59	a	2206		1124		430 \pm 55	b	429 \pm 40	a
2011/2012	186 \pm 47	a	140 \pm 44	a	1181		1160		472 \pm 49	ab *	426 \pm 98	a
Manganês												
Ano	IBt		CT		IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores		Frutos/Sementes		Miscelânea \square		Total	
2008/2009	1534 \pm 103	a	2089 \pm 165	a ***	1069 \pm 120	b	1556 \pm 152	ab ***	979 \pm 213	a	1228 \pm 292	a
2009/2010	1621 \pm 121	a	2235 \pm 205	a ***	1102 \pm 161	ab	1597 \pm 108	a ***	1082 \pm 108	a	1124 \pm 172	a
2010/2011	1547 \pm 119	a	2170 \pm 288	a ***	1214 \pm 177	a	1587 \pm 153	a ***	1028 \pm 109	a	1283 \pm 352	a
2011/2012	1567 \pm 128	a	2122 \pm 230	a ***	1131 \pm 203	ab	1473 \pm 100	b ***	970 \pm 223	a	1305 \pm 316	a
2008/2009	667 \pm 236	a	667 \pm 61	a	1201		1620		1376 \pm 127	a	1840 \pm 180	a ***
2009/2010	425 \pm 174	a	753 \pm 153	a *	1297		1829		1426 \pm 106	a	1978 \pm 219	a ***
2010/2011	550 \pm 54	a	747 \pm 89	a **	1234		1553		1395 \pm 153	a	1883 \pm 232	a ***
2011/2012	477 \pm 95	a	660 \pm 102	a *	1163		1835		1415 \pm 122	a	1848 \pm 250	a ***

Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística de $p < 0,05$ na comparação entre anos para o mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo ano e fração da serapilheira. \square amostra sem repetição

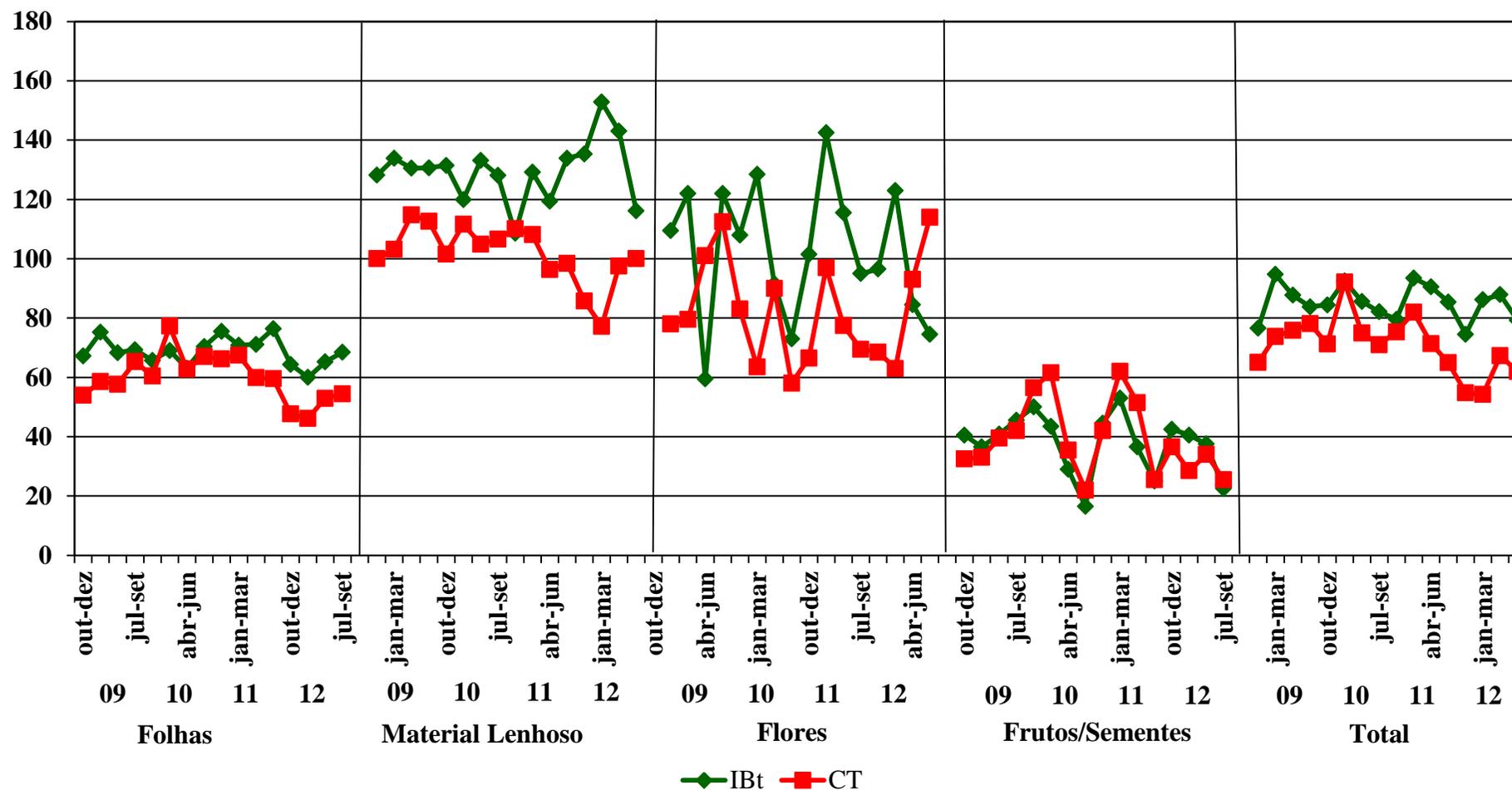
Zn (mg kg^{-1})

Figura 21. Concentrações trimestrais de zinco (Zn mg kg^{-1}) nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 3)

Tabela 14. Estimativa anual média \pm desvio padrão (mg kg^{-1}) das concentrações de zinco nas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Ano	Zinco											
	IBt		CT		IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas				Material Lenhoso				Flores			
2008/2009	70,00 \pm 5,36	ab ***	58,89 \pm 5,80	a	130,80 \pm 14,19	a ***	107,67 \pm 12,77	a	103,25 \pm 29,76	a	92,75 \pm 16,84	a
2009/2010	66,87 \pm 5,21	a	65,95 \pm 10,11	a	128,90 \pm 7,68	a ***	105,67 \pm 11,35	a	100,25 \pm 23,64	a	73,63 \pm 15,30	a
2010/2011	73,95 \pm 6,70	b ***	63,20 \pm 5,60	a	122,45 \pm 19,74	a *	103,45 \pm 15,66	a	113,63 \pm 21,06	a *	77,63 \pm 13,73	a
2011/2012	64,50 \pm 5,39	c ***	50,30 \pm 4,46	b	136,83 \pm 18,91	a ***	90,13 \pm 11,76	b	94,63 \pm 20,95	a	84,63 \pm 23,53	a
	Frutos/Sementes				Miscelânea \square				Total			
2008/2009	40,83 \pm 3,68	a	36,75 \pm 4,73	a	183,00		160,00		85,68 \pm 8,89	a ***	73,18 \pm 6,28	a
2009/2010	34,75 \pm 15,00	a	43,88 \pm 18,43	a	173,00		148,50		85,57 \pm 8,40	a *	75,97 \pm 11,18	a
2010/2011	39,75 \pm 11,92	a	45,25 \pm 15,49	a	201,50		118,50		86,27 \pm 8,20	a ***	72,74 \pm 7,76	a
2011/2012	35,75 \pm 9,07	a	31,13 \pm 5,02	a	153,50		123,50		81,97 \pm 9,23	a ***	59,57 \pm 6,96	b

Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística de $p < 0,05$ na comparação entre anos para o mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo ano e fração da serapilheira. \square amostra sem repetição

Apesar da variação entre os meses, com as áreas apresentando picos de concentração nos mesmos períodos, o potássio não apresentou diferenças entre anos e locais, excetuando-se em 2010/2011 onde as concentrações foram mais altas no IBt (Figura 13 e Tabela 10). O cálcio, por outro lado, apresentou diferenças entre as áreas e anos de amostragem para todas as frações, sendo que no Instituto de Botânica foram significativamente maiores as concentrações encontradas. As flores apresentaram as menores as concentrações, enquanto o material lenhoso e foliar as maiores (Figura 14 e Tabela 10).

Semelhante ao nitrogênio e ao cálcio, o magnésio mostrou aumento de concentração com o decorrer dos anos (Figura 15). Ocorreram diferenças entre meses para as frações reprodutivas e lenhosas, sendo significativamente maior no CT para esta última (Tabela 11).

O teor de enxofre foi significativamente maior na área mais preservada do IBt, sem dominância de bambu no subosque. Sua concentração variou entre áreas e frações, decrescendo no IBt na seguinte ordem: flores > miscelânea > folhas > material lenhoso > frutos, enquanto que no CT: miscelânea > folhas > flores > material lenhoso > frutos (Figura 16, Tabela 11).

Os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) variaram significativamente entre as áreas com diferentes domínios de bambu. Boro, cobre, ferro e zinco (Figuras 17, 18, 19 e 21, Tabelas 12 a 14) foram significativamente maiores no Botânico, enquanto manganês no CienTec (Figura 20 e Tabela 13). Apenas para o boro houve reduções significativas de suas concentrações entre os anos de 2008 e 2012 em ambas as áreas de estudo para todas as frações da serapilheira produzida. A fração flores, por exemplo, diminuiu de 75,64-78,50 mg kg⁻¹ em 2008, para 35,89-29,52 mg kg⁻¹ em 2012 no IBt e CienTec, respectivamente (Tabela 12). Ao contrário, as concentrações de cobre e ferro aumentaram entre o primeiro e último anos de pesquisa, principalmente no material foliar. A concentração de cobre nas folhas do Instituto de Botânica aumentou de 15,97 ± 2,48 mg kg⁻¹ para 18,25 ± 1,96 mg kg⁻¹ entre o primeiro e terceiro anos, mantendo neste patamar no quarto ano (Tabelas 12 e 13). A serapilheira foliar e lenhosa da floresta do CT é cerca de 2 vezes mais enriquecida em manganês do que a do IBt.

O material lenhoso apresentou as maiores concentrações de cobre, ferro e zinco (Figuras 18, 19 e 21), com diferenças significativas entre os anos estudados (Tabelas 12, 13 e 14). Os frutos e sementes, por sua vez, exibiram conteúdos reduzidos de ferro, manganês e zinco. Deve-se destacar a grande concentração de ferro na miscelânea tanto do IBt como do CienTec, superando em mais de 50% o teor encontrado nas demais frações (Tabela 13).

Considerando os quatro anos de amostragem, as Tabelas 15 e 16 mostram a concentração média mensal de macro e micronutrientes na serapilheira produzida nos dois locais de estudo. Verificou-se que os elementos têm concentrações distintas nas duas áreas e entre as frações: nitrogênio (frações folhas, flores e total), fósforo (frações folhas e total), magnésio (frações material lenhoso, frutos/sementes e total) e manganês (todas as frações) apresentaram concentrações significativamente maiores no CienTec. Enquanto potássio (frações material lenhoso e fruto/sementes), cálcio (frações folhas, material lenhoso e total), enxofre (frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes e total), boro (frações folhas e total), cobre (frações folhas, material lenhoso, flores, miscelânea e total), ferro (frações material lenhoso, flores, miscelânea e total) e zinco (frações folhas, material lenhoso, flores, miscelânea e total) foram significativamente maiores no IBt.

Em uma análise comparativa, tem-se a seguinte sequência decrescente de concentração de nutrientes na serapilheira produzida pela floresta do PEFI (g kg^{-1}):

IBt	Folhas: N > Ca > K > Mg > S > Mn > P > Fe > B > Zn > Cu
	Material Lenhoso: N > Ca > K > S > Mn > Mg > Fe > P > Zn > B > Cu
	Flores: N > Ca > K > S > Mg > P > Mn > Fe > Zn > B > Cu
	Frutos/sementes: N > K > Ca > S > Mg > P > Mn > Fe > Zn > B > Cu
	Miscelânea: N > Ca > K > S > Mg > P > Mn > Fe > Zn > B > Cu
	Total: N > Ca > K > S > Mn > Mg > P > Fe > Zn > B > Cu
CT	Folhas: N > Ca > K > Mn > Mg > S > P > Fe > Zn > B > Cu
	Material Lenhoso: N > Ca > Mn > Mg > S > K > P > Fe > Zn > B > Cu
	Flores: N > Ca > K > Mg > S > Mn > P > Fe > Zn > B > Cu
	Frutos/sementes: N > K > Ca > Mg > S > P > Mn > Fe > Zn > B > Cu
	Miscelânea: N > Ca > K > S > Mg > Mn > P > Fe > Zn > B > Cu
	Total: N > Ca > K > Mn > Mg > S > P > Fe > Zn > B > Cu

Nitrogênio, cálcio e potássio foram os elementos mais abundantes em todas as frações, enquanto boro, zinco e cobre foram os menos abundantes. Destaca-se a importância do manganês na área com bambu dominante (CienTec), pois muitas vezes suas concentrações ultrapassaram as de magnésio e enxofre.

Tabela 15. Concentração média mensal de macronutrientes (g kg^{-1}) nas diferentes frações da serapilheira produzida (média \pm desvio padrão) em dois trechos do PEFI sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* (n = 45)

Elemento	Frações Serapilheira	Instituto de Botânica	Parque Cientec
		sem dominância do bambu	com dominância do bambu
		g kg^{-1}	
N	Folhas	16,73 \pm 1,76	18,52 \pm 1,73 ***
	Material Lenhoso	13,48 \pm 1,65	13,82 \pm 1,69
	Flores	20,44 \pm 4,57	24,26 \pm 3,71 *
	Frutos/Sementes	14,81 \pm 3,22	15,97 \pm 2,99
	Miscelânea	20,39 \pm 6,95	25,58 \pm 1,17
	Total	15,83 \pm 1,34	17,21 \pm 1,51 ***
P	Folhas	0,54 \pm 0,06	0,60 \pm 0,11 **
	Material Lenhoso	0,40 \pm 0,04	0,41 \pm 0,07
	Flores	1,41 \pm 0,36 *	1,14 \pm 0,31
	Frutos/Sementes	1,05 \pm 0,24	1,04 \pm 0,29
	Miscelânea	1,25 \pm 0,07	1,11 \pm 0,25
	Total	0,54 \pm 0,05	0,58 \pm 0,08 ***
K	Folhas	3,13 \pm 0,92	3,07 \pm 0,97
	Material Lenhoso	1,93 \pm 0,84 ***	1,04 \pm 0,29
	Flores	5,05 \pm 2,89	3,79 \pm 2,12
	Frutos/Sementes	5,40 \pm 2,11 *	4,28 \pm 1,50
	Miscelânea	2,56 \pm 0,32	2,29 \pm 0,74
	Total	2,90 \pm 0,80	2,70 \pm 0,87
Ca	Folhas	10,05 \pm 1,00 ***	8,63 \pm 1,31
	Material Lenhoso	10,79 \pm 1,83 *	9,97 \pm 2,23
	Flores	7,14 \pm 1,79	6,09 \pm 2,15
	Frutos/Sementes	3,66 \pm 0,78	3,13 \pm 0,70
	Miscelânea	8,25 \pm 0,91	8,04 \pm 0,90
	Total	10,00 \pm 1,12 ***	8,68 \pm 1,14
Mg	Folhas	1,78 \pm 0,23	1,87 \pm 0,22
	Material Lenhoso	1,00 \pm 0,24	1,24 \pm 0,24 ***
	Flores	1,68 \pm 0,28	1,58 \pm 0,28
	Frutos/Sementes	1,11 \pm 0,18	1,28 \pm 0,23 *
	Miscelânea	1,73 \pm 0,17	1,71 \pm 0,11
	Total	1,55 \pm 0,20	1,65 \pm 0,21 *
S	Folhas	1,68 \pm 0,24 ***	1,42 \pm 0,17
	Material Lenhoso	1,30 \pm 0,16 ***	1,14 \pm 0,15
	Flores	2,17 \pm 0,95 **	1,40 \pm 0,33
	Frutos/Sementes	1,19 \pm 0,23 *	1,02 \pm 0,25
	Miscelânea	1,92 \pm 0,15	1,75 \pm 0,09
	Total	1,57 \pm 0,20 ***	1,31 \pm 0,14

*, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo elemento e fração da serapilheira.

Tabela 16. Concentração média mensal de micronutrientes (mg kg^{-1}) nas diferentes frações da serapilheira produzida (média \pm desvio padrão) em dois trechos do PEFI sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* (n = 45)

Elemento	Frações Serapilheira	Instituto de Botânica	Parque Cientec
		sem dominância bambu	com dominância do bambu
		mg kg^{-1}	
B	Folhas	73,39 \pm 11,99 ***	55,24 \pm 13,63
	Material Lenhoso	28,63 \pm 11,00	29,69 \pm 12,24
	Flores	64,15 \pm 25,17	58,02 \pm 27,28
	Frutos/Sementes	30,69 \pm 12,18	30,27 \pm 11,57
	Miscelânea	67,68 \pm 19,77 *	61,17 \pm 23,16
	Total	59,64 \pm 12,11 ***	46,57 \pm 12,60
Cu	Folhas	17,00 \pm 1,87 ***	15,50 \pm 2,15
	Material Lenhoso	27,44 \pm 2,88 ***	23,30 \pm 2,86
	Flores	27,81 \pm 5,17 **	23,00 \pm 4,09
	Frutos/Sementes	15,97 \pm 3,11	16,13 \pm 3,87
	Miscelânea	43,00 \pm 3,76 *	34,75 \pm 2,90
	Total	20,04 \pm 2,21 ***	17,68 \pm 2,31
Fe	Folhas	420 \pm 58	428 \pm 80
	Material Lenhoso	564 \pm 118 ***	434 \pm 74
	Flores	489 \pm 141 *	368 \pm 122
	Frutos/Sementes	184 \pm 56	158 \pm 57
	Miscelânea	1670 \pm 424 *	1113 \pm 48
	Total	459 \pm 52 ***	418 \pm 65
Mn	Folhas	1567 \pm 119	2151 \pm 223 ***
	Material Lenhoso	1126 \pm 171	1551 \pm 135 ***
	Flores	1015 \pm 161	1235 \pm 270 ***
	Frutos/Sementes	530 \pm 169	707 \pm 112 ***
	Miscelânea	1223 \pm 57	1709 \pm 144 ***
	Total	1403 \pm 124	1886 \pm 221 ***
Zn	Folhas	68,65 \pm 6,49 ***	59,28 \pm 8,93
	Material Lenhoso	130,09 \pm 16,09 ***	101,57 \pm 14,34
	Flores	102,94 \pm 22,77 **	82,16 \pm 17,56
	Frutos/Sementes	43,75 \pm 26,66	39,25 \pm 12,65
	Miscelânea	178,75 \pm 20,02 *	137,63 \pm 19,878
	Total	84,79 \pm 8,59 ***	70,14 \pm 10,28

*, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo elemento e fração da serapilheira.

4.2.2 Quantidade de nutrientes na serapilheira produzida

As quantidades anuais de nutrientes transferidas ao solo pelas diversas frações da serapilheira produzida ao longo dos anos de estudo são apresentadas nas Tabelas 17 a 20.

Tabela 17. Transferência anual (kg ha⁻¹) de nitrogênio, fósforo e potássio pelas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Nitrogênio						
Ano	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT
	Folhas		Material Lenhoso		Flores	
2008/2009	100,4 a	77,9 a	27,2 ab	25,5 a	1,8 b	4,8 a
2009/2010	100,1 a	82,2 a	35,1 ab	27,2 a	1,2 ab	1,1 b
2010/2011	83,5 a	77,9 a	37,1 a	26,4 a	1,5 ab	11,8 ab
2011/2012	83,6 a	81,0 a	21,6 b	20,5 a	2,4 a	3,8 a
	Frutos/Sementes		Miscelânea		Total	
2008/2009	5,1 a	4,6 a	2,7 a	2,6 a	137,2 a	115,1 a
2009/2010	5,7 a	5,4 a	0,3 ab	1,1 a	142,9 a	117,4 a
2010/2011	4,5 a	4,5 a	0,6 ab	0,9 a	127,3 a	121,5 a
2011/2012	5,4 a	7,4 a *	0,6 b	1,3 a	113,6 a	114,0 a
Fósforo						
	Folhas		Material Lenhoso		Flores	
2008/2009	3,1 a	2,7 a	0,8 a	0,9 a	0,1 b	0,3 a
2009/2010	3,1 a	2,4 a	1,0 a	0,8 ab	0,2 a ***	0,1 b
2010/2011	2,9 a	2,6 a	1,0 a	0,7 ab	0,1 ab	0,6 a
2011/2012	2,8 a	2,2 a	0,7 a	0,5 b	0,2 a	0,2 a
	Frutos/Sementes		Miscelânea		Total	
2008/2009	0,4 a	0,3 a	0,14 a	0,12 a	4,5 a	4,3 ab
2009/2010	0,4 a	0,4 a	0,05 b ***	0,04 b	4,5 a	3,7 ab
2010/2011	0,3 a	0,3 a	0,03 ab	0,02 a	4,4 a	4,3 a
2011/2012	0,4 a	0,3 a	0,03 b	0,07 a	4,1 a	3,3 b
Potássio						
	Folhas		Material Lenhoso		Flores	
2008/2009	15,7 a	13,6 a	3,4 b	2,9 a	0,3 b	0,6 a
2009/2010	17,5 a	11,5 a	4,0 ab *	2,3 a	0,5 a ***	0,2 b
2010/2011	16,9 a *	12,6 a	5,2 a **	2,5 a	0,4 a	1,3 a
2011/2012	15,6 a	12,8 a	3,1 b *	2,1 a	0,6 a	0,5 a
	Frutos/Sementes		Miscelânea		Total	
2008/2009	1,5 a	1,3 a	0,28 a	0,31 a	21,2 b	18,6 a
2009/2010	2,0 a	1,5 a	0,10 b **	0,08 b	24,2 ab *	15,6 a
2010/2011	1,5 a	1,0 a	0,06 b	0,05 a	24,1 a *	17,5 a
2011/2012	1,9 a	1,7 a	0,06 b	0,16 a	21,2 b	17,2 a

Letras diferentes na coluna indicam diferenças estatísticas de $p < 0,05$ na comparação entre anos dentro do mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo elemento e fração da serapilheira.

Tabela 18. Transferência anual (kg ha^{-1}) de cálcio, magnésio e enxofre pelas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Cálcio							
Ano	IBt		CT		IBt	CT	
	Folhas		Material Lenhoso				Flores
2008/2009	53,8 a *	35,3 a	19,2 a	18,8 a	0,6 b	0,9 a	
2009/2010	55,6 a *	34,9 a	28,0 a	17,3 a	0,8 a ***	0,2 b	
2010/2011	55,8 a *	37,9 a	28,0 a	18,9 a	0,7 ab	2,0 a	
2011/2012	55,6 a	44,6 a	20,1 a	17,0 a	1,1 a	1,1 a	
		Frutos/Sementes		Miscelânea		Total	
2008/2009	1,3 a *	0,8 b	0,8 a	0,7 a	75,6 a	56,4 a	
2009/2010	1,0 a	1,0 ab	0,3 b	0,4 a	85,7 a *	53,8 a	
2010/2011	1,1 a	0,9 ab	0,2 b	0,3 a	85,7 a *	60,0 a	
2011/2012	1,6 a	1,6 a	0,2 b	0,5 a	78,5 a	64,7 a	
Magnésio							
Ano	IBt		CT		IBt	CT	
	Folhas		Material Lenhoso				Flores
2008/2009	9,3 a	8,4 a	2,0 ab	2,4 a	0,1 b	0,2 a	
2009/2010	10,8 a	8,0 a	2,6 ab	2,0 a	0,2 a ***	0,1 b	
2010/2011	9,6 a	7,9 a	2,7 a	2,2 a	0,1 ab	0,1 a	
2011/2012	9,7 a	7,9 a	1,7 b	2,2 a	0,2 a	0,3 a	
		Frutos/Sementes		Miscelânea		Total	
2008/2009	0,4 a	0,4 a	0,18 a	0,17 a	12,0 a	11,7 a	
2009/2010	0,3 a	0,4 a	0,06 b	0,08 ab	13,9 a	10,5 a	
2010/2011	0,3 a	0,3 a	0,05 b	0,05 b	12,7 a	11,2 a	
2011/2012	0,5 a	0,6 a	0,05 b	0,10 ab	12,1 a	11,0 a	
Enxofre							
Ano	IBt		CT		IBt	CT	
	Folhas		Material Lenhoso				Flores
2008/2009	10,0 a	6,9 a	2,6 a	2,5 a	0,1 b	0,3 ab	
2009/2010	8,5 a	6,8 a	3,2 a	2,2 ab	0,3 a ***	0,1 b	
2010/2011	8,8 a *	7,5 a	3,1 a	2,5 ab	0,2 ab	0,7 ab	
2011/2012	9,6 a **	5,4 a	2,3 a *	1,5 b	0,2 a	0,2 a	
		Frutos/Sementes		Miscelânea		Total	
2008/2009	0,4 a	0,3 a	0,20 a	0,19 a	13,4 a	10,2 a	
2009/2010	0,4 a	0,4 a	0,07 b	0,08 ab	12,4 a	9,4 a	
2010/2011	0,4 a	0,3 a	0,06 b	0,06 b	12,5 a *	8,7 a	
2011/2012	0,5 a	0,4 a	0,04 b	0,09 ab	12,6 a **	7,5 a	

Letras diferentes na coluna indicam diferenças estatísticas $p < 0,05$ na comparação entre anos dentro do mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo elemento e fração da serapilheira.

Tabela 19. Transferência anual (kg ha⁻¹) de boro, cobre e ferro pelas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Ano	Boro							
	IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores			
2008/2009	0,443 a **	0,284 a	0,069 a	0,065 a	0,006 b	0,011 a		
2009/2010	0,417 a *	0,245 a	0,078 a	0,063 a	0,011 a **	0,004 b		
2010/2011	0,348 a **	0,203 a	0,058 ab	0,051 a	0,005 b	0,013 ab		
2011/2012	0,360 a *	0,212 a	0,039 b *	0,027 b	0,004 b	0,004 ab		
	Frutos/Sementes		Miscelânea		Total			
2008/2009	0,012 a	0,011 a	0,010 a	0,008 a	0,539 a **	0,378 a		
2009/2010	0,012 a	0,012 a	0,003 b	0,004 ab	0,521 a *	0,328 ab		
2010/2011	0,007 a	0,007 a	0,002 b	0,002 b	0,420 ab *	0,277 ab		
2011/2012	0,009 a	0,009 a	0,001 b	0,002 b	0,414 b **	0,253 b		
Cobre								
Ano	IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores			
	2008/2009	0,095 a	0,072 a	0,058 a	0,049 a	0,002 b	0,005 a	
2009/2010	0,094 a	0,068 a	0,067 a	0,044 ab	0,003 a **	0,001 b		
2010/2011	0,094 a *	0,069 a	0,067 a	0,045 ab	0,003 ab	0,009 a		
2011/2012	0,094 a *	0,057 a	0,049 a *	0,032 b	0,003 a	0,003 a		
	Frutos/Sementes		Miscelânea		Total			
2008/2009	0,005 a	0,005 a	0,005 a	0,004 a	0,164 a	0,135 a		
2009/2010	0,006 a	0,006 a	0,001 b	0,002 ab	0,172 a	0,121 ab		
2010/2011	0,005 a	0,005 a	0,001 b	0,001 b	0,169 a	0,129 ab		
2011/2012	0,007 a	0,005 a	0,001 b	0,002 ab	0,154 a **	0,098 b		
Ferro								
Ano	IBt		CT		IBt		CT	
	Folhas		Material Lenhoso		Flores			
	2008/2009	2,631 a	2,070 a	1,266 a *	0,864 a	0,037 b	0,082 a	
2009/2010	2,270 a	1,818 a	1,324 a *	0,795 ab	0,060 a **	0,012 b		
2010/2011	2,098 a	1,824 a	1,218 a	0,809 ab	0,050 ab	0,205 a		
2011/2012	2,524 a	2,193 a	1,003 a **	0,582 b	0,067 a	0,058 a		
	Frutos/Sementes		Miscelânea		Total			
2008/2009	0,055 a	0,046 a	0,179 a	0,114 a	4,167 a	3,177 a		
2009/2010	0,064 a	0,063 a	0,058 bc	0,045 b	3,776 a	2,733 a		
2010/2011	0,055 a	0,052 a	0,059 b	0,037 ab	3,478 a	2,926 a		
2011/2012	0,084 a	0,066 a	0,028 c	0,063 ab	3,705 a	2,963 a		

Letras diferentes na coluna indicam diferenças estatísticas de $p < 0,05$ na comparação entre anos dentro do mesmo local e fração da serapilheira. * e ** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo elemento e fração da serapilheira.

Tabela 20. Transferência anual (kg ha⁻¹) de manganês e zinco pelas frações folhas, material lenhoso, flores, frutos/sementes, miscelânea e na serapilheira total produzida, no período de outubro/2008 a setembro/2012 nas áreas sem dominância (IBt) e com dominância do bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 12)

Manganês						
Ano	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT
	Folhas		Material Lenhoso		Flores	
2008/2009	9,139 a	9,913 a	2,151 ab	3,153 a *	0,082 b	0,235 a
2009/2010	9,188 a	9,791 a	2,873 ab	2,908 a	0,137 a **	0,049 b
2010/2011	8,100 a	9,100 a	2,924 a	2,955 a	0,090 ab	0,427 a
2011/2012	8,667 a	9,571 a	1,999 b	2,195 a	0,121 a	0,173 a
	Frutos/Sementes		Miscelânea		Total	
2008/2009	0,197 a	0,231 a	0,137 a	0,165 a	11,707 a	13,697 a
2009/2010	0,135 a	0,244 a	0,043 b	0,079 ab	12,376 a	13,071 a
2010/2011	0,149 a	0,203 a	0,033 b	0,052 b	11,296 a	12,736 a
2011/2012	0,213 a	0,294 a	0,027 b	0,100 ab	11,027 a	12,333 a
Zinco						
	Folhas		Material Lenhoso		Flores	
2008/2009	0,407 a *	0,266 a	0,269 a	0,216 a	0,009 a	0,016 a
2009/2010	0,376 a	0,280 a	0,330 a	0,197 ab	0,013 ab ***	0,003 b
2010/2011	0,385 a *	0,2,61 a	0,292 a	0,189 ab	0,010 ab	0,032 a
2011/2012	0,353 a *	0,218 a	0,245 a **	0,132 b	0,012 b	0,011 a
	Frutos/Sementes		Miscelânea		Total	
2008/2009	0,014 a	0,012 a	0,021 a	0,016 a	0,719 a *	0,526 a
2009/2010	0,011 a	0,014 a	0,006 b	0,006 b	0,737 a	0,502 ab
2010/2011	0,011 a	0,013 a	0,005 b	0,004 ab	0,704 a *	0,499 a
2011/2012	0,017 a	0,014 a	0,004 b	0,007 ab	0,630 a **	0,382 b

Letras diferentes na coluna indicam diferenças estatísticas de $p < 0,05$ na comparação entre anos dentro do mesmo local e fração da serapilheira. *, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o mesmo elemento e fração da serapilheira.

Muitas das diferenças observadas para as concentrações de nutrientes entre as áreas e entre os anos de estudo (Tabelas 9 a 14) não permaneceram ao considerarmos as quantidades transferidas de cada elemento (Tabelas 17 a 20), como podemos observar para o nitrogênio, o fósforo, o cálcio, o magnésio e o manganês.

A fração foliar depositou anualmente quantidades semelhantes para a maioria dos nutrientes, não havendo diferenças significativas para nenhum elemento entre os quatro anos de estudo. As partes lenhosas, por sua vez, apresentaram algumas diferenças entre os anos. Os frutos e sementes, assim como as folhas, apresentaram deposição semelhante de nutrientes entre os anos, com exceção do cálcio, que foi significativamente menor no período de out/2008 a set/2009. As frações que mais apresentaram variações entre os anos foram as reprodutivas e a miscelânea, em decorrência da ausência de uniformidade em suas produções (Tabelas 17 a 20). Com relação à fração flores, maior variação da quantidade retornada ocorreu no CienTec, muito em função da alta produção ocorrida

no terceiro ano (2010/2011), chegando a ser cerca de 3 vezes maior que a obtida nos demais anos. No segundo ano (out/09 a set/10) a transferência de nutrientes pelas flores foi significativamente menor para todos os elementos, muito decorrente da menor queda observada dessa fração (Tabela 7).

Ao avaliarmos a transferência de nutrientes no período estudado (2008-2012), a área do IBt retornou quantidades significativamente maiores de potássio ($22,35 \pm 2,43 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), cálcio ($80,27 \pm 9,44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enxofre ($12,56 \pm 1,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), boro ($0,467 \pm 0,049 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), cobre ($0,162 \pm 0,021 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), ferro ($3,76 \pm 0,51 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e zinco ($0,69 \pm 0,09 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), quando comparada ao CT. Não houve diferenças entre as áreas para as quantidades de nitrogênio, fósforo, magnésio e manganês transferidas pela serapilheira (Tabelas 21 e 22).

Maiores quantidades de nutrientes foram depositadas pelas folhas e material lenhoso do IBt, uma vez que a produção de serapilheira destas frações é maior. As flores transferiram quantidades significativamente maiores de enxofre e manganês no CienTec. E, a fração frutos, por sua vez, transferiu quantidades semelhantes de elementos nas duas áreas (Tabelas 21 e 22).

Tabela 21. Retorno de macronutrientes ao solo ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, média \pm desvio padrão) pelas diferentes frações da serapilheira produzida em duas áreas do PEFI sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* (n = 4)

Elemento	Frações Serapilheira	Instituto de Botânica	Parque Cientec
		sem dominância bambu	com dominância do bambu
		$\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
N	Folhas	91,89 \pm 12,46	79,74 \pm 14,88
	Material Lenhoso	30,24 \pm 5,53	24,84 \pm 5,14
	Flores	2,00 \pm 0,48	5,38 \pm 2,80
	Frutos/Sementes	5,05 \pm 1,07	5,54 \pm 1,29
	Miscelânea	1,05 \pm 0,36	1,48 \pm 0,63
	Total	130,22 \pm 16,13	116,97 \pm 19,92
P	Folhas	2,96 \pm 0,37 *	2,48 \pm 0,39
	Material Lenhoso	0,87 \pm 0,16	0,73 \pm 0,15
	Flores	0,14 \pm 0,03	0,28 \pm 0,15
	Frutos/Sementes	0,35 \pm 0,07	0,34 \pm 0,07
	Miscelânea	0,06 \pm 0,02	0,07 \pm 0,03
	Total	4,38 \pm 0,51	3,89 \pm 0,63
K	Folhas	16,44 \pm 2,16 ***	12,64 \pm 2,36
	Material Lenhoso	3,92 \pm 0,61 ***	2,46 \pm 0,45
	Flores	0,46 \pm 0,12	0,62 \pm 0,28
	Frutos/Sementes	1,72 \pm 0,35	1,36 \pm 0,25
	Miscelânea	0,12 \pm 0,04	0,15 \pm 0,06
	Total	22,66 \pm 2,43 ***	17,23 \pm 2,85
Ca	Folhas	55,20 \pm 7,68 ***	38,16 \pm 7,83
	Material Lenhoso	23,79 \pm 4,29 *	17,99 \pm 3,90
	Flores	0,77 \pm 0,23	1,05 \pm 0,46
	Frutos/Sementes	1,23 \pm 0,27	1,09 \pm 0,24
	Miscelânea	0,38 \pm 0,14	0,45 \pm 0,19
	Total	81,38 \pm 9,44 ***	58,74 \pm 9,47
Mg	Folhas	9,82 \pm 1,39 ***	8,06 \pm 1,53
	Material Lenhoso	2,23 \pm 0,43	2,20 \pm 0,46
	Flores	0,17 \pm 0,04	0,29 \pm 0,14
	Frutos/Sementes	0,38 \pm 0,08	0,44 \pm 0,10
	Miscelânea	0,08 \pm 0,03	0,10 \pm 0,04
	Total	12,68 \pm 1,57	11,09 \pm 1,86
S	Folhas	9,22 \pm 1,27 ***	6,15 \pm 1,16
	Material Lenhoso	2,81 \pm 0,51 **	2,07 \pm 0,43
	Flores	0,20 \pm 0,05	0,31 \pm 0,16 *
	Frutos/Sementes	0,40 \pm 0,09	0,34 \pm 0,07
	Miscelânea	0,09 \pm 0,03	0,10 \pm 0,04
	Total	12,72 \pm 1,50 ***	8,96 \pm 1,50

*, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o elemento na fração da serapilheira.

Tabela 22. Retorno de micronutrientes ao solo ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, média \pm desvio padrão) pelas diferentes frações da serapilheira produzida em duas áreas do PEFI sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* (n = 4)

Elemento	Frações Serapilheira	Instituto de Botânica	Parque Cientec
		sem dominância bambu	com dominância do bambu
		$\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	
B	Folhas	0,392 \pm 0,045 ***	0,236 \pm 0,048
	Material Lenhoso	0,061 \pm 0,011	0,051 \pm 0,009
	Flores	0,007 \pm 0,002	0,008 \pm 0,003
	Frutos/Sementes	0,010 \pm 0,002	0,010 \pm 0,002
	Miscelânea	0,004 \pm 0,001	0,004 \pm 0,002
	Total	0,474 \pm 0,049 ***	0,309 \pm 0,054
Cu	Folhas	0,094 \pm 0,013 ***	0,067 \pm 0,012
	Material Lenhoso	0,060 \pm 0,011 **	0,042 \pm 0,009
	Flores	0,003 \pm 0,001	0,004 \pm 0,002
	Frutos/Sementes	0,005 \pm 0,001	0,005 \pm 0,001
	Miscelânea	0,002 \pm 0,001	0,002 \pm 0,001
	Total	0,165 \pm 0,021 ***	0,121 \pm 0,020
Fe	Folhas	2,38 \pm 0,40 *	1,98 \pm 0,47
	Material Lenhoso	1,20 \pm 0,22 ***	0,76 \pm 0,15
	Flores	0,05 \pm 0,02	0,09 \pm 0,06
	Frutos/Sementes	0,06 \pm 0,02	0,06 \pm 0,02
	Miscelânea	0,08 \pm 0,03	0,07 \pm 0,03
	Total	3,78 \pm 0,51 **	2,95 \pm 0,60
Mn	Folhas	8,77 \pm 1,37	9,59 \pm 2,11
	Material Lenhoso	2,49 \pm 0,45	2,80 \pm 0,56
	Flores	0,11 \pm 0,03	0,22 \pm 0,10
	Frutos/Sementes	0,17 \pm 0,04	0,24 \pm 0,06 *
	Miscelânea	0,06 \pm 0,02	0,10 \pm 0,04
	Total	11,60 \pm 1,56	12,96 \pm 2,43
Zn	Folhas	0,38 \pm 0,05 ***	0,26 \pm 0,05
	Material Lenhoso	0,28 \pm 0,05 ***	0,18 \pm 0,04
	Flores	0,01 \pm 0,00	0,02 \pm 0,01
	Frutos/Sementes	0,01 \pm 0,00	0,01 \pm 0,00
	Miscelânea	0,01 \pm 0,00	0,01 \pm 0,00
	Total	0,70 \pm 0,09 ***	0,48 \pm 0,08

*, **, *** indicam, na mesma linha, nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais para o elemento na fração da serapilheira.

4.3 Serapilheira acumulada

O estoque de serapilheira sobre o solo variou significativamente entre as áreas e entre os períodos de coleta. O estoque médio de serapilheira sobre o solo foi maior no trecho mais

preservado ($10338 \pm 349 \text{ kg ha}^{-1}$) que aquele encontrado na porção com subosque predominado por bambus ($7090 \pm 236 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 23).

Tabela 23. Estimativa do estoque de serapilheira acumulada sobre o solo (kg ha^{-1}) na floresta do PEFI, São Paulo, SP (n = 30)

Período	Instituto de Botânica	Parque CienTec
	kg ha ⁻¹	
úmido/2009	12669 ± 636 a***	7109 ± 317 ab
seco/2009	-	5408 ± 225 c
seco/2010	8100 ± 559 b**	6230 ± 418 c
seco/2011	9093 ± 887 b*	6559 ± 573 bc
úmido/2012	12162 ± 737 a***	8595 ± 585 a
seco/2012	9624 ± 736 b	8688 ± 878 a
úmido	12415 ± 483 a***	7840 ± 341 a
seco	8937 ± 426 b***	6721 ± 305 b
Total	10338 ± 349 ***	7090 ± 236

Letras na coluna comparam diferentes períodos dentro de cada área ao nível de significância de $p < 0,05$.

*, ** e *** na linha indicam nível de significância $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais dentro do mesmo período.

- coleta não realizada

Os estoques no solo foram mais elevados no período úmido (12415 ± 483 e 7840 ± 341) do que no seco (8937 ± 426 e 6721 ± 305), em ambas as áreas (IBt e CT, respectivamente) e coincidiram com os picos de produção de serapilheira (Figura 10).

No IBt, os maiores acúmulos ocorreram claramente nas duas amostragens realizadas no período úmido. Enquanto para o trecho do CT, além das duas do período úmido, também naquela realizada no período seco de 2012. Neste local, os menores estoques de serapilheira sobre o solo foram verificados nos períodos secos dos anos de 2009 e 2010 (Tabela 23).

Pode-se observar o elevado desvio padrão do material acumulado (Figura 22), mostrando a grande variabilidade dentro da floresta, uma vez que a composição e distribuição das espécies, bem como a existência de clareiras não são uniformes. No IBt a maior variação ocorreu no período úmido/12 (5847 a 23715 kg ha^{-1}), enquanto no CT foi no período seco/12 (3177 a 22245 kg ha^{-1}). E a menor variação ocorreu no CienTec, em 2009, justamente um ano após a morte do bambu.

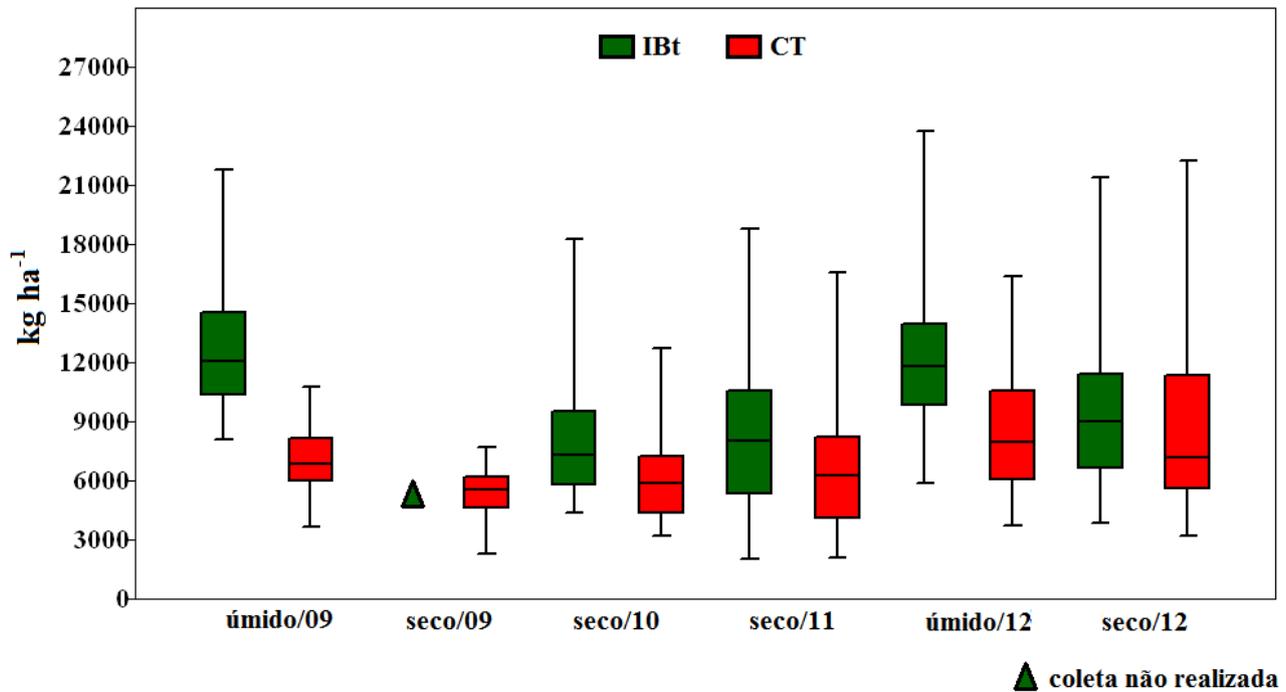


Figura 132. Estimativa do estoque de serapilheira acumulada em duas áreas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (IBt e CT) durante os períodos úmido (dez-fev) e seco (jun-ago) entre os anos de 2009 e 2012 (n = 30)

4.3.1 Concentração de nutrientes na serapilheira acumulada

As concentrações de macro e micronutrientes na área do IBt e CT durante o período de seco/2010 a seco/2012 podem ser visualizadas na Tabela 24.

Durante todos os períodos avaliados não houve diferenças nas concentrações de nutrientes, com exceção do nitrogênio e do potássio. O nitrogênio apresentou menores ($18,29 \pm 0,75 \text{ g kg}^{-1}$) e maiores ($20,51 \pm 1,02 \text{ g kg}^{-1}$) concentrações nas amostragens dos períodos seco/2010 e seco/2012, respectivamente, enquanto o potássio obteve menor concentração no período seco/2012.

Quando se compara os períodos úmido e seco não houve diferenças na composição química do material estocado no solo. Entretanto, de maneira geral, houve diminuição da concentração dos nutrientes no período úmido/2012, principalmente no CT.

Tabela 24. Estimativa (média \pm desvio padrão) da concentração de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na serapilheira acumulada sobre o solo na floresta do PEFI sem dominância do bambu (IBt) e com dominância do bambu (CT) ($n = 3$)

Período/Ano	IBt		CT		IBt		CT	
	N		P		K			
Seco/2010	18,29 \pm 0,75 b	19,42 \pm 1,86 a	0,45 \pm 0,03 a	0,40 \pm 0,03 a	1,16 \pm 0,10 a	1,21 \pm 0,03 a		
Seco/2011	19,58 \pm 1,03 ab*	18,27 \pm 0,99 a	0,50 \pm 0,03 a	0,52 \pm 0,08 a	1,16 \pm 0,20 a	1,36 \pm 0,13 a		
Úmido/2012	19,39 \pm 2,62 ab	17,12 \pm 0,05 a	0,46 \pm 0,05 a	0,41 \pm 0,02 a	0,99 \pm 0,06 a	1,04 \pm 0,02 a		
Seco/2012	20,51 \pm 1,02 a *	17,92 \pm 1,21 a	0,49 \pm 0,09 a	0,41 \pm 0,01 a	1,17 \pm 0,18 a	0,91 \pm 0,02 b		
	IBt		CT		IBt		CT	
	Ca		Mg		S			
Seco/2010	11,40 \pm 1,37 a *	8,15 \pm 0,77 a	0,83 \pm 0,06 a	0,93 \pm 0,06 a	1,18 \pm 0,11 a	1,00 \pm 0,08 a		
Seco/2011	7,27 \pm 2,98 a	5,94 \pm 2,21 a	0,63 \pm 0,28 a	0,95 \pm 0,26 a	1,57 \pm 0,37 a	1,28 \pm 0,26 a		
Úmido/2012	10,40 \pm 1,52 a	8,58 \pm 0,29 a	0,83 \pm 0,06 a*	0,90 \pm 0,14 a	1,40 \pm 0,15 a*	0,99 \pm 0,06 a		
Seco/2012	9,09 \pm 2,03 a	7,06 \pm 1,41 a	0,77 \pm 0,06 a	0,63 \pm 0,06 a	1,19 \pm 0,11 a	1,33 \pm 0,17 a		
	IBt		CT		IBt		CT	
	B		Cu		Fe			
Seco/2010	31,20 \pm 6,39 a	24,93 \pm 3,45 a	38,17 \pm 6,66 a	32,17 \pm 10,40 a	1411 \pm 81 a	1054 \pm 408 a		
Seco/2011	30,34 \pm 6,49 a	25,21 \pm 4,75 a	50,33 \pm 15,43 a	34,75 \pm 8,50 a	2628 \pm 919 a	2131 \pm 872 a		
Úmido/2012	23,34 \pm 3,33 a	19,93 \pm 1,79 a	33,50 \pm 8,35 a	24,00 \pm 3,54 a	2499 \pm 737 a	1564 \pm 68 a		
Seco/2012	24,04 \pm 4,58 a	18,01 \pm 4,40 a	32,50 \pm 2,65 a	40,33 \pm 8,13 a	1945 \pm 712 a	1589 \pm 304 a		
	IBt		CT		IBt		CT	
	Mn		Zn					
Seco/2010	596 \pm 93 a	784 \pm 41 a*	125,33 \pm 10,28 a	94,67 \pm 11,93 a				
Seco/2011	584 \pm 92 a	847 \pm 199 a*	139,33 \pm 26,14 a*	96,33 \pm 10,39 a				
Úmido/2012	632 \pm 85 a	744 \pm 30 a	130,17 \pm 7,64 a	98,75 \pm 17,32 a				
Seco/2012	620 \pm 3 a	696 \pm 17 a*	121,17 \pm 0,27 a*	95,50 \pm 12,93 a				

Letras na coluna comparam diferentes períodos dentro de cada área ao nível de significância de $p < 0,05$. * na linha indica nível de significância a $p < 0,05$ para comparação entre locais dentro do mesmo período.

Comparando-se as áreas, observa-se que o trecho do Instituto de Botânica possuiu concentrações significativamente maiores de nitrogênio, cálcio, magnésio, enxofre e zinco, enquanto no CT apenas de manganês (Tabela 25).

Tabela 25. Concentração média estimada de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na serapilheira acumulada sobre o solo (média \pm desvio padrão) em duas áreas do PEFI sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* ($n = 3$)

Elemento	Instituto de Botânica sem dominância do bambu	Parque CienTec com dominância do bambu
N (g kg^{-1})	19,47 \pm 1,46 *	18,27 \pm 1,29
P (g kg^{-1})	0,48 \pm 0,05	0,45 \pm 0,08
K (g kg^{-1})	1,13 \pm 0,16	1,18 \pm 0,20
Ca (g kg^{-1})	9,09 \pm 2,70 *	7,03 \pm 1,87
Mg (g kg^{-1})	0,74 \pm 0,20	0,87 \pm 0,21
S (g kg^{-1})	1,38 \pm 0,30 *	1,19 \pm 0,23
B (mg kg^{-1})	27,85 \pm 6,16 *	22,85 \pm 4,90
Cu (mg kg^{-1})	40,97 \pm 13,00	33,86 \pm 9,01
Fe (mg kg^{-1})	2223 \pm 835	1703 \pm 721
Mn (mg kg^{-1})	603 \pm 77	786 \pm 140 **
Zn (mg kg^{-1})	131,1 \pm 18,0 **	96,1 \pm 10,7

* e ** na linha indicam nível de significância a $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente, para comparação entre locais.

A concentração de nutrientes na serapilheira acumulada em ambas as áreas seguiu a seguinte ordem decrescente (g kg^{-1}): $\text{N} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{S} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Mn} > \text{P} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{B}$.

4.3.2 Quantidade de nutrientes na serapilheira acumulada

Assim como a concentração dos nutrientes, os seus conteúdos na serapilheira acumulada foram significativamente mais elevados na área mais preservada e sem dominância do bambu (Tabela 26).

Observou-se que os maiores estoques de nutrientes foram encontrados no período úmido e menores no período seco de 2010, principalmente no IBt. Na área dominada pelo bambu, as menores quantidades de fósforo, cálcio, enxofre, cobre, ferro e zinco foram observadas na amostragem realizada no período seco de 2010, justamente dois anos após o florescimento e morte do bambu *A. aristulata*.

Tabela 26. Estimativa da quantidade (média \pm desvio padrão) de macronutrientes e micronutrientes (kg ha⁻¹) na serapilheira acumulada sobre o solo na floresta do PEFI: sem dominância do bambu (IBt) e com dominância do bambu (CT) (n = 30)

Período/Ano	N		P		K	
	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT
Seco/2010	147 \pm 55 b *	123 \pm 46 a	4 \pm 1 b ***	3 \pm 1 b	9 \pm 4 b *	8 \pm 3 a
Seco/2011	178 \pm 94 b **	119 \pm 58 a	5 \pm 2 ab	3 \pm 2 ab	11 \pm 6 ab	9 \pm 4 a
Úmido/2012	244 \pm 88 a ***	147 \pm 54 a	6 \pm 2 a ***	4 \pm 1 a	12 \pm 4 a **	9 \pm 3 a
Seco/2012	197 \pm 80 ab*	158 \pm 88 a	5 \pm 2 ab*	4 \pm 2 ab	11 \pm 4 ab**	8 \pm 4 a
	Ca		Mg		S	
	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT
Seco/2010	92 \pm 35 b ***	51 \pm 18 b	7 \pm 3 b	6 \pm 2 ab	10 \pm 4 c ***	6 \pm 2 b
Seco/2011	66 \pm 35 c ***	39 \pm 19 c	6 \pm 3 b	6 \pm 3 ab	14 \pm 8 ab***	8 \pm 4 ab
Úmido/2012	131 \pm 48 a ***	74 \pm 27 a	10 \pm 4 a**	8 \pm 3 a	17 \pm 5 a ***	9 \pm 3 a
Seco/2012	90 \pm 40 bc***	63 \pm 38 b	8 \pm 3 b**	6 \pm 3 b	11 \pm 4 bc	12 \pm 6 a
	B		Cu		Fe	
	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT
Seco/2010	0,25 \pm 0,10 ab***	0,16 \pm 0,06 a	0,31 \pm 0,12 b***	0,20 \pm 0,08 b	11,33 \pm 4,24 c ***	6,68 \pm 3,47 b
Seco/2011	0,28 \pm 0,14 ab***	0,16 \pm 0,08 a	0,46 \pm 0,24 a***	0,23 \pm 0,11 b	23,90 \pm 12,56 ab***	13,90 \pm 6,79 a
Úmido/2012	0,28 \pm 0,10 a ***	0,17 \pm 0,06 a	0,39 \pm 0,14 a***	0,20 \pm 0,08 b	28,73 \pm 11,53 a ***	13,42 \pm 4,90 a
Seco/2012	0,22 \pm 0,09 b ***	0,16 \pm 0,09 a	0,30 \pm 0,14 b	0,36 \pm 0,20 a	16,41 \pm 7,66 bc	14,04 \pm 8,19 a
	Mn		Zn			
	IBt	CT	IBt	CT		
Seco/2010	4,90 \pm 2,09 b	4,95 \pm 1,80 a	1,03 \pm 0,40 b ***	0,59 \pm 0,22 b		
Seco/2011	5,31 \pm 2,79 b	5,52 \pm 2,70 a	1,27 \pm 0,67 b ***	0,63 \pm 0,31 b		
Úmido/2012	7,89 \pm 2,80 a *	6,38 \pm 2,33 a	1,58 \pm 0,51 a ***	0,84 \pm 0,31 a		
Seco/2012	5,73 \pm 2,63 b	6,14 \pm 3,35 a	1,12 \pm 0,51 b **	0,84 \pm 0,47 ab		

Letras na coluna comparam diferentes períodos dentro de cada área ao nível de significância de $p < 0,05$. *, ** e *** na linha indicam nível de significância a $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais dentro do mesmo período.

Comparando-se os estoques de elementos na serapilheira das duas florestas do PEFI, verifica-se que a área mais preservada possuiu maiores quantidades da maioria dos nutrientes analisados, com exceção do manganês, cujas quantidades foram semelhantes nos dois trechos (Tabela 27).

Tabela 27. Estimativa da quantidade de macronutrientes e micronutrientes (kg ha^{-1}) na serapilheira acumulada sobre o solo (média \pm desvio padrão) em duas áreas do PEFI sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* (n = 30)

Elemento	Instituto de Botânica	Parque CienTec
	sem dominância do bambu	com dominância do bambu
N	191 \pm 86 **	136 \pm 65
P	5 \pm 2 **	3 \pm 2
K	11 \pm 4 **	8 \pm 4
Ca	95 \pm 46 **	56 \pm 29
Mg	8 \pm 4 *	6 \pm 3
S	13 \pm 6 **	9 \pm 5
B	0,25 \pm 0,11 **	0,16 \pm 0,07
Cu	0,36 \pm 0,18 **	0,25 \pm 0,14
Fe	20,0 \pm 11,5 **	11,9 \pm 6,8
Mn	5,9 \pm 2,5	5,7 \pm 2,6
Zn	1,2 \pm 0,6 **	0,7 \pm 0,4

* e ** na linha indicam nível de significância a $p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente, para comparação entre locais.

5 DISCUSSÃO

5.1 Solo

Os resultados encontrados mostraram que os atributos físicos e químicos dos solos estudados na floresta do PEFI com diferentes domínios pelo bambu foram similares entre si (Tabelas 4 e 5). Isso pode ser resultado da proximidade entre os locais, de estarem situados sob o mesmo tipo de rocha, solo e/ou mesma condição climática.

Concentrações significativamente maiores foram observadas no trecho com bambu dominante para porcentagem de cátions básicos no complexo de troca (V%). Apesar da saturação em bases ser significativamente maior no CienTec, do ponto de vista da fertilidade do solo, os valores encontrados foram extremamente baixos (<25%), ressaltando o caráter distrófico destes solos. Esta condição de crescimento e estabelecimento em solos pobres em nutrientes é comum à maioria das florestas tropicais (Baker *et al.* 2003, Townsend *et al.* 2011) e influencia diretamente na disponibilidade e na eficiência de utilização dos nutrientes pelas plantas (Vitousek & Stanford 1986).

As concentrações de alumínio encontram-se em níveis considerados tóxicos para o desenvolvimento das plantas (Malavolta 2006, Prado 2008). Quanto ao enxofre, muito provavelmente, a existência no passado da siderúrgica vizinha ao PEFI foi responsável por altas deposições no solo desta floresta, incorporando-o ao sistema solo-planta.

Os solos são muito ácidos, característica típica de florestas tropicais (Fujii *et al.* 2011), com valores de pH muito próximos aos obtidos por De Vuono *et al.* (1988) em estudo realizado em área próxima à parcela do IBt. Entretanto, no intervalo de 20 anos entre as amostragens, observou-se um incremento considerável da matéria orgânica no solo que pode estar relacionado ao desenvolvimento sucessional desta floresta e intensificação dos processos relacionados à serapilheira, como taxa de decomposição. Huang *et al.* (2011), por exemplo, observaram aumento da concentração de carbono orgânico do solo durante um intervalo de 35 anos, relacionando-os diretamente à dinâmica da decomposição da serapilheira acumulada sobre o solo.

O carbono, o nitrogênio e a matéria orgânica, juntamente com a relação C/N são importantes indicadores do estado nutricional do solo (Hardtle *et al.* 2004, Johnson *et al.* 2008, Benham *et al.* 2012, Xiaogai *et al.* 2013), uma vez que durante o processo de mineralização do material orgânico muitos elementos são liberados, tais como cálcio,

magnésio, potássio, enxofre e micronutrientes (Ross *et al.* 2008, SanClements *et al.* 2010). Os altos valores de matéria orgânica ($>25 \text{ g dm}^{-3}$), carbono ($>14 \text{ g dm}^{-3}$), nitrogênio ($>1,4 \text{ g dm}^{-3}$) e a baixa relação C/N (<11) demonstram que as áreas fornecem boas condições para o desenvolvimento das plantas. É importante destacar que são nos primeiros centímetros do solo que ocorre a maior parte das trocas catiônicas responsáveis pela nutrição mineral das plantas, justamente onde se concentra a maior quantidade de matéria orgânica (Jobaggy & Jackson 2001). Muito em função disto, as concentrações dos elementos foram maiores nas camadas superficiais (Tabelas 4 e 5), indicando que esta camada se relaciona e responde às variações ambientais. Assim, associado aos baixos valores de cátions nutrientes disponíveis no solo, à alta disponibilidade de alumínio, que conferem baixa fertilidade ao solo e aos altos valores de matéria orgânica, a vegetação por meio da dinâmica da serapilheira constitui um importante reservatório de nutrientes no sistema solo-planta da floresta do PEFL.

As espécies podem influenciar o solo de diversas maneiras: por meio de diferenças químicas na composição da serapilheira, nos exsudatos liberados pela raiz, nas mudanças do microclima decorrentes do grau de cobertura do solo e nas mudanças na composição do subosque (Hansson *et al.* 2011). Os bambus têm sido apontados como espécies capazes em conservar a fertilidade do solo devido a manter o grau de cobertura do solo e suas condições de umidade; evitar a erosão e consequente perda de solo, manter os teores de carbono, nitrogênio e cátions básicos; alterar a velocidade de decomposição da serapilheira e o retorno de biomassa (Christanty *et al.* 1996, Arunachalam & Arunachalam 2002, Zhou *et al.* 2005, Takahashi *et al.* 2007, Zhang *et al.* 2010, Tao *et al.* 2012). Embora sejam poucos os trabalhos que abordem o assunto, Rai (2009) e Montti *et al.* (2011) também não observaram alterações nas propriedades químicas do solo após florescimento e morte massiva do bambu.

Portanto, em função das semelhanças existentes entre as áreas, o solo não constitui um fator que teria influência na dinâmica da serapilheira nessa floresta.

5.2 Serapilheira produzida

Neste estudo, os resultados mostraram que a produção de serapilheira foi significativamente mais alta no trecho mais preservado, sem dominância de bambu no subosque (Tabela 6). Esta diferença foi possível de ser observada, apenas, após quatro anos de estudo, demonstrando a importância de amostragens contínuas e de longo prazo na avaliação da dinâmica de funcionamento do ambiente.

A produção de serapilheira reflete a produtividade e o grau de desenvolvimento da floresta. Os distúrbios aos quais estão submetidas podem influenciar diretamente nos aspectos temporais e espaciais da deposição de material (Lawrence et al. 2005, Sato *et al.* 2010). Portanto, em função da similaridade da produção de serapilheira ao longo do período de estudo (2008-2012) em ambas as áreas (Tabela 7) demonstrou-se que o distúrbio de morte do bambu pouco influenciou na dinâmica do material depositado na floresta do PEFI. A diferença estimada entre as áreas estudadas pode desta maneira, representar outros aspectos que não àqueles decorrentes do distúrbio ocorrido entre 2007/2008.

A ausência de estudos sobre a dinâmica da produção de serapilheira em áreas afetadas pelos eventos de floração e morte de bambu impede melhores avaliações dos efeitos decorrentes deste processo na floresta. Entretanto, se considerarmos a área do CienTec como perturbada e em menor estágio sucessional, os menores valores da produção de serapilheira obtidos estão de acordo com os trabalhos que relatam redução do aporte de material em relação às áreas mais preservadas (Leitão Filho *et al.* 1993, Gairola *et al.* 2009, Lopes *et al.* 2009), em maior estágio sucessional (Hinkel 2002, Barbosa & Farias 2006, Scheer *et al.* 2006, Carmo *et al.* 2009, Chave *et al.* 2009, Pinto *et al.* 2008, Zhou *et al.* 2009, Bellingham *et al.* 2013) e com maior desenvolvimento da estrutura vegetacional (Werneck *et al.* 2001, Descheemaeker *et al.* 2006). Além disso, o fato de que as florestas ocupadas por bambus apresentam menor área basal, altura e densidade de indivíduos arbóreos (Tabarelli & Mantovani 1999, González *et al.* 2002, Guilherme *et al.* 2004, Griscom & Ashton 2003, Budke *et al.* 2010, Larpkern *et al.* 2011, Montti *et al.* 2011), como, também, encontrada na área do PEFI (Tabela 3), ajuda a explicar a menor produção de serapilheira verificada neste trecho.

Portanto, a menor produção de serapilheira obtida no CienTec revela muito mais o histórico de desenvolvimento desta floresta ocupada pelo bambu do que propriamente as influências de sua floração e morte. Delitti (1995) ressalta o aspecto de que a imprevisibilidade do tensor aumenta o poder de degradação/perturbação do ambiente. Assim, o fato da floração e morte massiva da *A. aristulata* ocorrer em intervalos de aproximadamente 15 anos pode indicar que a floresta está adaptada a este distúrbio, uma vez que a abrangência, intensidade e frequência com que esses eventos ocorrem são os principais fatores que determinam a estrutura e a composição das florestas (Turner 2010), e conseqüentemente, os processos funcionais.

Os resultados encontrados na área mais preservada do PEFI ($8315 \pm 1495 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) são similares aos obtidos por Moraes (2002), em estudo realizado em trecho adjacente

durante o período de 1994-1998, demonstrando que esta vegetação encontra-se em equilíbrio, apesar de transcorridos 10 anos entre as duas amostragens e dos tensores ambientais presentes neste fragmento. Nesta área, o fechamento das copas pode ter contribuído para a estabilização da produção da serapilheira (Descheemaeker *et al.* 2006, Zhou *et al.* 2007).

Quando se compara a produção de serapilheira na floresta do PEFI com a de outras formações brasileiras, verifica-se bastante semelhança às apresentadas por Florestas Ombrófilas Densas preservadas do Estado de São Paulo, da Amazônia e Estacionais Semidecíduais (Tabela 28). Observa-se uma variação na deposição do material entre as formações florestais e, de maneira geral, aumento da produção com o avanço da sucessão. Na Floresta Ombrófila Densa Amazônica a produção estimada para as formações primárias situa-se entre 8,0-9,8 kg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto para as formações secundárias entre 5,0-13,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Na Floresta Ombrófila Densa Atlântica encontram-se aportes variando de 1,8-13,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com produções baixas em áreas impactadas pela poluição atmosférica de Cubatão, enquanto que em Florestas Estacionais Semidecíduais estimaram-se deposições entre 4,9-11,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹. As menores produções foram avaliadas nas formações da Caatinga, Cerrado e Restinga. Nota-se, portanto, uma grande variação inter e entre formações que são respostas aos padrões da comunidade, variáveis ambientais e/ou agentes de perturbação.

O material foliar foi o componente principal e determinante da curva de deposição da serapilheira no PEFI (Tabela 6). Os valores estimados enquadram-se no apontado por Bray & Gorham (1964) para as florestas tropicais na latitude sul de 23° e estão próximos aos trabalhos realizados na cidade de São Paulo por Meguro *et al.* (1979), Teixeira (1992) e Moraes (2002). A variação entre 59-80% da contribuição das folhas encontrada para as formações brasileiras destaca seu papel na dinâmica da matéria orgânica e, conseqüentemente, no retorno de nutrientes ao solo (Tabela 28).

Tabela 28. Produção total (tot), em kg ha⁻¹ ano⁻¹, contribuição das folhas (fol), material lenhoso (mat len) e órgãos reprodutivos (rep), em %, e quantidade de nutrientes, em kg ha⁻¹ ano⁻¹, na serapilheira das principais formações florestais brasileiras

Localização	Estado de Regeneração/ Preservação	Produção de serapilheira				Quantidade de nutrientes						Fonte
		Tot	Fol	Mat Len	Rep	N	P	K	Ca	Mg	S	
		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹		%		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹						
Floresta de Restinga												
Paranaguá, PR	Preservada	7673	59	25	8	83	2	27	50	18	-	1
Paranaguá, PR	Preservada	5235	62	26	8	39	1	16	35	26	-	1
Cananéia, SP	Preservada	3930	74	18	6	28	1	7	30	11	7	2
Floresta Ombrófila Densa												
Antonina, PR	Estágio Inicial	7722	74	10	4	116	5	13	33	23	-	3
Antonina, PR	Estágio intermediário	7067	67	15	4	121	4	10	33	24	-	3
Antonina, PR	Estágio Avançado	8091	66	15	5	153	5	14	42	25	-	3
Antonina, PR	Estágio Inicial	5201	77	11	3	70	4	14	46	7	-	4
Antonina, PR	Estágio intermediário	5399	75	11	3	97	4	14	14	10	-	4
Antonina, PR	Estágio Avançado	5323	68	11	3	95	4	15	30	9	-	4
Salesópolis, SP	Preservada	6054	73	6	-	105	3	15	33	15	12	5
Cananéia, SP	Preservada	6310	70	15	13	102	4	20	60	19	15	2
Santo André, SP	Degradada (+ poluída)	1803	-	-	-	46	2	6	22	3	7	6
Santo André, SP	Degradada (- poluída)	3810	-	-	-	83	3	10	39	5	13	6
Santo André, SP	Degradada (- poluída)	8468	75	17	-	150	8	16	85	14	16	7
Santo André, SP	Degradada (- poluída)	7007	73	22	2	159	7	10	90	11	14	7
São Paulo, SP	Preservada	9417	63	29	5	186	9	38	105	18	-	8
São Paulo, SP	Preservada	8315	68	26	8	130	4	23	81	13	13	este estudo
São Paulo, SP	Perturbada bambu	6770	64	27	6	117	4	17	59	11	9	este estudo
Pinheiral, RJ	Estágio Inicial	10460	60	26	9	166	5	50	89	29	-	9
Pinheiral, RJ	Estágio Avançado	12970	66	26	4	219	6	67	108	38	-	9
Capitão do Poço, PA	Primária	9840	-	-	-	143	2	12	24	17	-	10
Capitão do Poço, PA	Estágio Inicial	7370	-	-	-	78	1	11	31	11	-	10
Capitão do Poço, PA	Estágio intermediário	8390	-	-	-	94	2	12	42	15	-	10
Capitão do Poço, PA	Estágio intermediário	7880	-	-	-	90	1	12	46	12	-	10
Capitão do Poço, PA	Estágio Avançado	8060	-	-	-	120	2	10	33	13	-	10
Capitão do Poço, PA	Primária	8040	-	-	-	115	4	28	114	16	-	11
Capitão do Poço, PA	Estágio Inicial	5040	-	-	-	76	4	37	106	13	-	11
Ouro Preto do Oeste, RO	Estágio Inicial	13380	-	-	-	221	8	86	239	32	11	12
Floresta Estacional Semidecidual												
Londrina, PR	Preservada	8212	-	-	-	147	2	54	231	17	-	13
Patrocínio Paulista, SP	Preservada	9936	-	-	-	193	10	98	349	42	17	14
Brotas, SP	Preservada	8952	60	28	9	198	3	-	91	58	-	15

continua...

... continuação

Localização	Estado de Regeneração	Produção de serapilheira				Quantidade de nutrientes						Fonte
		Tot	Fol	Mat Len	Rep	N	P	K	Ca	Mg	S	
		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	%			kg ha ⁻¹ ano ⁻¹						
Floresta Estacional Semidecidual												
Londrina, PR	Preservada	8212	-	-	-	147	2	54	231	17	-	13
Patrocínio Paulista, SP	Preservada	9936	-	-	-	193	10	98	349	42	17	14
Brotas, SP	Preservada	8952	60	28	9	198	3	-	91	58	-	15
Anhembi, SP	Preservada	8800	65	28	7	203	6	44	109	24	14	16 e 17
Araras, SP	Preservada	11591	66	32	2	230	8	79	230	30	27	18 e 19
Nova Xavantina, MT	Preservada	7940	65	19	11	123	4	32	62	22	-	20
Cuiabá, MT	Preservada	4860	57	17	13	140	14	44	130	29	-	21
Cuiabá, MT	Preservada	5060	72	13	5	123	14	66	90	35	-	21
Viçosa, MG	Estágio Inicial	6310	65	31	4	137	4	17	89	21	-	22
Viçosa, MG	Estágio Avançado	8819	56	36	8	180	8	45	179	26	-	22
Cerrado												
Patrocínio Paulista, SP	Preservada	3873	-	-	-	47	2	8	25	6	3	14
Três Marias, MG	Preservada	2920	69	8	5	33	4	1	-	-	-	23
Cuiabá, MT	Preservada	7470	71	16	-	64	5	21	54	14	-	21
Cuiabá, MT	Preservada	7710	66	20	-	73	8	35	63	24	-	21
Mata Ciliar												
Guaraqueçaba, PR	Estágio Intermediário	3011	80	11	6	42	3	12	40	7	-	24
Guaraqueçaba, PR	Estágio Avançado	6367	68	22	4	93	6	24	79	15	-	24
Brotas, SP	Preservada	6464	64	27	7	152	-	-	61	61	46	15
Botucatu, SP	Preservada	10646	-	-	-	218	12	53	200	8	-	25
Assis, SP	Degradada	5348	79	-	-	82	3	24	70	15	6	26
Marília, SP	Degradada	8827	76	-	-	185	6	50	182	35	13	26
Tarumã, SP	Preservada	9744	73	-	-	179	8	59	324	56	17	26
Floresta Estacional Decidual												
Santa Maria, RS	Preservada	7762	66	22	3	207	11	38	269	30	-	27
Itaara, RS	Preservada	7436	72	16	-	165	9	36	124	20	12	28
Caatinga												
Serra Negra, RN	Preservada	2069	80	9	3	38	3	17	50	5	4	29
Santa Terezinha, PB	Preservada	1619	65	23	11	13	1	5	7	2	6	30

Legenda: 1 - Brites (1994); 2 - Moraes *et al.* (1999); 3 - Bianchin (2013); 4 - Dickow (2010); 5 - Custódio Filho *et al.* (1996); 6 - Domingos *et al.* (2000); 7 - Lopes *et al.* (2009); 8 - Meguro *et al.* (1979); 9 - Toledo *et al.* (2002); 10 - Hayashi (2006); 11 - Dantas & Phillipson (1979); 12 - Côrrea (2005); 13 - Pimenta *et al.* (2011); 14 - Araújo (2006); 15 - Schlittler *et al.* (2010); 16 - César (1993a); 17 - César (1993b); 18 - Diniz & Pagano (1997); 19 - Diniz *et al.* (1997); 20 - Marimon Júnior (2007); 21 - Haase (1999); 22 - Pinto *et al.* (2009); 23 - Giacomo *et al.* (2012); 24 - Scheer *et al.* (2011); 25 - Vital *et al.* (2004); 26 - Pagano & Durigan (2009); 27 - Cunha *et al.* (1993); 28 - Vogel (2005); 29 - Santana (2005); 30 - Souto *et al.* (2009)

Variações interanuais na produção de serapilheira são esperadas e ressaltam a produtividade, as estratégias adaptativas (Portillo-Estrada *et al.* 2013) e as influências da sazonalidade climática na comunidade florestal (Tian *et al.* 2010, Posada & Schuur 2011, Vasconcelos *et al.* 2012, Travers & Eldridge 2013). A produção apresentou variações mensais de material depositado (Figura 10), que pode ser resultado da diferenciação fenológica e florística existente entre as áreas (Tabela 3). De maneira geral, os trechos no PEFI apresentaram padrões semelhantes de deposição entre si e aos de outras Florestas Ombrófilas Densas, com os picos de maior produção ocorrendo no período úmido (outubro a janeiro), enquanto os de menor no período seco (junho e julho) (Hinkel 2002, Barbosa & Farias 2006, Abreu *et al.* 2010, Scheer *et al.* 2011).

A maior deposição da serapilheira no período úmido está relacionada às condições ambientais mais favoráveis ao desenvolvimento e crescimento dos órgãos vegetais, como maior radiação solar, temperatura e disponibilidade de água. Enquanto, no período seco, a menor precipitação e umidade do solo, bem como, o menor comprimento do dia e temperatura reduzem as taxas metabólicas e, conseqüentemente, a renovação do material vegetal (Baker *et al.* 2003, Bambi 2007, Andivia *et al.* 2010, Sayer & Tanner 2010, Vendrami *et al.* 2012). Os ventos, por outro lado, exercem força mecânica capaz de derrubar, além de órgãos senescentes, folhas e galhos jovens (Dias & Oliveira Filho 1997), o que explicaria alguns picos no período mais seco e maiores concentrações de nutrientes no material depositado. As correlações existentes entre as diversas frações da serapilheira com as variáveis climáticas encontradas no PEFI comprovam estas influências (Tabela 8).

5.2.1 Concentração de nutrientes na serapilheira

Distúrbios que acarretam mudanças na composição de espécies são importantes fatores de impacto na dinâmica florestal alterando, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes (Bhatti *et al.* 2002, Gairola *et al.* 2009, Chen & Xu 2010, Turner 2010). Neste sentido, a partir dos resultados obtidos, ao longo dos quatro anos estudados (2008-2012) observaram-se diferenças entre áreas nas concentrações dos nutrientes no material depositado. Na área com bambu dominante, houve mais reduções das concentrações dos elementos (fósforo, enxofre, boro, cobre e zinco) do que aumentos (nitrogênio e cálcio). Enquanto no trecho sem bambu houve redução do nitrogênio, boro e ferro e aumento das concentrações de cálcio e magnésio (Tabelas 9 a 14). Estas flutuações indicam, portanto, uma redução na concentração de elementos presentes na serapilheira produzida no CienTec durante o período de estudo.

As concentrações de N, P, Mg e Mn na serapilheira total produzida foram maiores na área do CT, enquanto as de Ca, S, B, Cu, Fe e Zn foram altas no Instituto de Botânica, não sendo encontradas diferenças para o potássio (Tabela 15 e 16). Os nutrientes presentes em maior concentração no Parque CienTec são móveis dentro da planta, exceto o manganês, enquanto os presentes no IBt são menos móveis (Malavolta 2006, Prado 2008). No caso do CT observa-se que os nutrientes estão ligados aos processos de renovação foliar (fotossíntese, respiração, síntese de proteínas, produção de energia), que pode estar relacionado diretamente a mecanismos de recuperação desta floresta ou a menor eficiência na utilização destes nutrientes pelas plantas, uma vez que o solo é distrófico. Por outro lado, na área do IBt, as maiores concentrações de enxofre, ferro, cobre e zinco, muito provavelmente, devem-se aos poluentes atmosféricos depositados no passado pela siderúrgica vizinha ao PEFI, como apontaram De Vuono *et al.* (1984) e De Vuono *et al.* (1988), indicando que estes elementos foram incorporados ao sistema solo-planta e entraram na ciclagem de nutrientes dessa floresta.

As concentrações significativamente mais altas de manganês em todas as frações da serapilheira no trecho com bambu dominante (Tabela 16), embora os teores no solo sejam semelhantes nas duas áreas (Tabela 5), podem indicar acúmulo deste elemento pelas espécies desta área.

Portanto, as variações encontradas entre as áreas com diferentes domínios de bambu podem estar relacionadas ao fato das espécies diferirem entre si nas suas capacidades de absorção, acúmulo, exigência e eficiência no uso dos nutrientes, bem como ao histórico de desenvolvimento de cada área (Hooper & Vitousek 1997, Aerts & Chapin 2000, Boeger *et al.* 2005, Milla *et al.* 2005, Han *et al.* 2011).

As folhas representam o compartimento mais significativo da produção, não somente pela quantidade depositada, mas também pela sua qualidade nutricional (Araújo & Haridassan 2007). É nas folhas que ocorre a maioria dos processos metabólicos e fisiológicos existentes na planta, devendo seu conteúdo mineral estar relacionado com o desenvolvimento e produtividade vegetal, de tal modo que Gairola *et al.* (2009) apontam esta fração como um indicador de distúrbios. As concentrações significativamente mais altas de elementos encontrados nesta fração em relação à lenhosa e à de frutos e sementes vem ressaltar a sua importância. Destaca-se que as flores, juntamente com as folhas, apresentaram maiores concentrações de nitrogênio, potássio, magnésio, enxofre e boro, embora, em muitos casos, a fração miscelânea apresentou altas concentrações de nutrientes, muito provavelmente por ser

composta por fragmentos das outras frações e por conter material de origem animal na sua composição (Tabela 15 e 16).

As concentrações de macronutrientes na serapilheira produzida pela floresta do PEFI estão abaixo dos encontrados por Meguro *et al.* (1979) em fragmento também presente na cidade de São Paulo, mas próximas às outras Florestas Ombrófilas do Paraná (Portes 2000, Dichow 2010, Bianchin 2013), São Paulo (Moraes *et al.* 1999) e Rio de Janeiro (Borém & Ramos 2002) (Tabela 29). Cada formação apresentou concentrações distintas de nutrientes (Tabela 29) e as variações encontradas estão muito relacionadas ao grau de fertilidade do solo que sustenta a floresta (Aerts & Chapin 2000, Dent *et al.* 2006, Han *et al.* 2011, Condit *et al.* 2013), às características e histórico de cada local, bem como, à variação na composição de espécies (Hättenschwiler *et al.* 2008). De maneira geral, os nutrientes foram mais baixos em florestas de Restinga e de Cerrado e maiores em Florestas Estacionais Semidecíduais e Matas Ciliares. O nitrogênio variou de 9,35 a 26,20 g kg⁻¹, o fósforo entre 0,28 e 1,48 g kg⁻¹, o potássio variou no intervalo de 0,94 a 9,82 g kg⁻¹, enquanto o cálcio situou-se na faixa de 5,50 a 35,09 g kg⁻¹, o magnésio no intervalo de 0,79 a 6,30 g kg⁻¹ e o enxofre variou de 0,96 a 6,60 g kg⁻¹. Portanto, as concentrações dos macronutrientes encontradas na serapilheira produzida pela floresta do PEFI situam-se em uma faixa intermediária àquelas obtidas em outras florestas brasileiras.

Tabela 29. Concentração de macronutrientes (g kg^{-1}) na serapilheira total nas formações florestais brasileiras. (F. Ombrófila Densa – Floresta Ombrófila Densa), (F. Estacional Semidecidual – Floresta Estacional Semidecidual), (F. Estacional Decidual – Floresta Estacional Decidual)

Localização	Formação Florestal	Estado de conservação/ Regeneração	Concentração de nutrientes (g kg^{-1})						Fonte
			N	P	K	Ca	Mg	S	
Paranaguá, PR	Restinga	Preservada	12,30	0,37	4,40	6,00	2,20	-	1
Paranaguá, PR	Restinga	Preservada	9,35	0,28	4,10	6,10	2,10	-	1
Cananéia, SP	Restinga	Preservada	9,38	0,38	1,95	6,78	2,10	2,23	2
Antonina, PR	F. Ombrófila Densa	Estágio inicial	15,91	0,96	2,14	3,67	2,73	0,96	3
Antonina, PR	F. Ombrófila Densa	Estágio intermediário	17,69	0,66	1,87	4,06	3,11	0,96	3
Antonina, PR	F. Ombrófila Densa	Estágio avançado	18,98	0,77	2,17	4,85	2,88	0,96	3
Antonina, PR	F. Ombrófila Densa	Estágio inicial	13,10	0,66	2,60	8,60	1,20	-	4
Antonina, PR	F. Ombrófila Densa	Estágio intermediário	17,40	0,72	2,60	2,50	1,90	-	4
Antonina, PR	F. Ombrófila Densa	Estágio avançado	17,20	0,73	2,80	5,50	1,70	-	4
Quatro Barras, PR	F. Ombrófila Densa	Preservada	15,00	1,00	3,90	14,10	2,00	-	5
Cananéia, SP	F. Ombrófila Densa	Preservada	17,53	0,85	3,75	9,25	2,75	2,18	1
Santo André, SP	F. Ombrófila Densa	Degradada (+ poluída)	21,90	0,90	2,70	10,20	1,40	3,50	6
Santo André, SP	F. Ombrófila Densa	Degradada (- poluída)	26,20	1,20	3,50	12,40	1,70	3,90	6
Santo André, SP	F. Ombrófila Densa	Preservada	22,70	1,00	1,70	12,80	1,50	1,80	7
Santo André, SP	F. Ombrófila Densa	Preservada	20,40	1,00	2,40	13,20	2,00	2,10	7
São Paulo, SP	F. Ombrófila Densa	Preservada	15,83	0,54	2,90	10,00	1,55	1,57	este estudo
São Paulo, SP	F. Ombrófila Densa	Perturbada – bambu	17,21	0,58	2,70	8,68	1,65	1,31	este estudo
São Paulo, SP	F. Ombrófila Densa	Preservada	23,15	1,18	4,48	11,00	1,83	-	8
Silva Jardim, RJ	F. Ombrófila Densa	Preservada	17,30	0,44	0,94	8,25	2,29	1,56	9
Silva Jardim, RJ	F. Ombrófila Densa	Degradada (corte raso)	18,92	0,50	1,43	10,55	1,43	2,31	9
Recife, PE	F. Ombrófila Densa	Preservada	-	0,50	4,74	15,73	2,42	-	10
Manaus, AM	F. Ombrófila Densa	Preservada	13,98	0,27	1,74	2,76	1,85	-	11
São Tomé do Pacuí, AP	F. Ombrófila Densa	Preservada	12,30	0,49	1,29	7,76	1,88	-	12
Capitão do Poço, PA	F. Ombrófila Densa	Preservada	14,77	0,22	1,15	2,28	1,76	-	13
Capitão do Poço, PA	F. Ombrófila Densa	Estágio inicial	10,52	0,20	1,25	4,13	1,49	-	13
Capitão do Poço, PA	F. Ombrófila Densa	Estágio intermediário	11,68	0,20	1,31	5,23	1,46	-	13
Capitão do Poço, PA	F. Ombrófila Densa	Estágio avançado	15,02	0,25	1,16	3,57	1,64	-	13
Mucajaí, RR	F. Ombrófila Densa	Preservada	15,06	0,60	4,37	6,11	1,53	-	14
Patrocínio Paulista, SP	F. Estacional Semidecidual	Preservada	17,39	0,76	7,25	28,56	3,39	1,33	15
Patrocínio Paulista, SP	F. Estacional Semidecidual	Preservada	19,47	1,05	9,82	35,09	4,19	1,67	15

continua...

... continuação

Localização	Formação Florestal	Estado de conservação	Concentração de nutrientes (g kg ⁻¹)						Fonte
			N	P	K	Ca	Mg	S	
Araras, SP	F. Estacional Semidecidual	Preservada	24,88	0,88	8,38	21,88	2,98	2,36	16
Brotas, SP	F. Estacional Semidecidual	Preservada	22,50	0,40	-	10,10	6,30	-	17
Viçosa, MG	F. Estacional Semidecidual	Estágio inicial	21,72	0,72	2,63	14,16	3,30	-	18
Viçosa, MG	F. Estacional Semidecidual	Estágio avançado	20,39	0,89	5,16	20,33	2,97	-	18
Cachoeira do Itapemirim, ES	F. Estacional Semidecidual	Estágio avançado	16,63	0,82	5,23	25,51	2,38	1,30	19
Londrina, PR	F. Estacional Semidecidual	Preservada	19,62	0,30	7,67	23,02	1,74	-	20
Cuiabá, MT	F. Estacional Semidecidual	Preservada	16,00	1,83	8,51	11,72	4,51	-	21
Guaraqueçaba, PR	Mata Ciliar	Estágio intermediário	11,58	0,78	3,85	13,68	2,35	-	22
Guaraqueçaba, PR	Mata Ciliar	Estágio avançado	14,45	0,96	4,38	14,87	2,64	-	22
Brotas, SP	Mata Ciliar	Preservada	23,10	0,40	-	9,30	7,10	-	17
Botucatu, SP	Mata Ciliar	Preservada	21,58	1,37	6,23	22,85	4,40	-	23
Assis, SP	Mata Ciliar	Degradada (extração madeira)	15,20	0,60	4,20	13,70	3,00	1,30	24
Marília, SP	Mata Ciliar	Degradada (extração madeira)	21,50	0,70	5,50	19,50	4,00	1,50	24
Tarumã, SP	Mata Ciliar	Preservada	19,10	0,90	6,10	33,00	5,50	1,80	24
Patrocínio Paulista, SP	Cerrado	Preservada	12,13	0,16	2,14	6,50	1,30	0,80	15
Campo Verde, MT	Cerradão	Preservada	14,97	0,97	5,32	4,54	0,79	1,00	25
Campo Verde, MT	Cerradão	Estágio intermediário	10,76	0,74	4,46	4,54	0,52	0,81	25
Santa Maria, RS	F. Estacional Decidual	Preservada	10,24	0,67	2,11	10,69	1,36	-	26
Itaara, RS	F. Estacional Decidual	Preservada	22,40	1,20	4,70	16,20	2,50	-	27
Serra Negra, RN	Caatinga	Preservada	18,61	1,48	8,41	24,3	2,56	1,84	28
Santa Terezinha, PB	Caatinga	Preservada	13,80	1,30	4,60	8,10	1,40	6,60	29

Legenda: 1 - Brites (1994); 2 - Moraes *et al.* (1999); 3 - Bianchin (2013); 4 - Dickow (2010); 5 - Portes (2000); 6 - Domingos *et al.* (2000); 7 - Lopes *et al.* (2009); 8 - Meguro *et al.* (1979); 9 - Borém & Ramos (2002); 10 - Espig *et al.* (2009); 11 - Vasconcelos & Luizão (2004); 12 - Mochiutti *et al.* (2006); 13 - Hayashi (2006); 14 - Barbosa & Fearnside (1996); 15 - Araújo (2006); 16 - Diniz *et al.* (1997); 17 - Schlittler *et al.* (2010); 18 - Pinto *et al.* (2009); 19 - Godinho *et al.* (2013); 20 - Pimenta *et al.* (2011); 21 - Haase (1999); 22 - Scheer *et al.* (2011); 23 - Vital *et al.* (2004); 24 - Pagano & Durigan (2009); 25 - Fernandes (2005); 26 - Cunha *et al.* (1993); 27 - Vogel (2005); 28 - Santana (2005); 29 - Souto *et al.* (2009).

A concentração dos micronutrientes na serapilheira produzida foi semelhante nas duas áreas do PEFI, sendo encontrada a seguinte sequência decrescente: $Mn > Fe > Zn > B > Cu$. Estas concentrações estão de acordo com os obtidos por Moraes *et al.* (1999), Costa *et al.* (2007), Bristot (2008), Dichow (2010) e Scheer *et al.* (2011). Em alguns estudos, ferro é superior ao manganês (Domingos *et al.* 1999, Lopes *et al.* 2009) e boro é maior que zinco (Britez 1994, Godinho *et al.* 2011, Müller 2011, Bianchin 2013). Nestes trabalhos, a variação encontrada para o boro foi de 20 e 74 $mg\ kg^{-1}$, para o cobre de 1 a 29 $mg\ kg^{-1}$, para o ferro de 97 a 1650 $mg\ kg^{-1}$, enquanto para o manganês situou-se entre 112 e 708 $mg\ kg^{-1}$ e o zinco entre 70 e 520 $mg\ kg^{-1}$. Portanto, os resultados encontrados para a floresta do PEFI mostram que as concentrações dos micronutrientes situam-se entre valores considerados de médios a altos para florestas, destacando-se principalmente as concentrações de manganês (1403-1886 $mg\ kg^{-1}$) que foram duas vezes maiores aos obtidos por Bianchin (2013) em Floresta Ombrófila Densa do Paraná.

Encontrou-se, de maneira geral, uma relação inversa entre produção de serapilheira e sua concentração de nutrientes, ou seja, quando a floresta derruba muito material ele é pobre em nutrientes. E, quando a queda é pequena, a serapilheira concentra mais elementos (Figuras 11 a 21). Assim, nas áreas estudadas as diferentes concentrações encontradas na serapilheira podem estar relacionados aos processos de retranslocação dos elementos antes da abscisão e/ou na intensificação da lixiviação de nutrientes pela água de chuva. Por exemplo, no período de maior produção (outubro a dezembro) o material depositado seria mais empobrecido em nutrientes, em função da intensa atividade dos órgãos vegetativos que pode favorecer a translocação dos nutrientes dentro da planta antes da senescência foliar. Além disso, este período coincide com a intensificação das chuvas, a qual possui um papel direto na lixiviação dos nutrientes das folhas. Desta maneira, o nitrogênio, fósforo e potássio tendem a diminuir de concentração à medida que a produção aumenta, uma vez que são elementos móveis e utilizados em atividades de síntese e formação de novos órgãos. O potássio diminuiu no período úmido em função da lixiviação e aumentou no período seco em função da sua participação nos mecanismos de osmorregulação que fornecem meios de tolerância ao estresse hídrico (Malavolta 2006). Para os demais elementos (Ca, Mg, S e micronutrientes) não foi identificado um padrão de maior ou menor deposição e sua concentração, que pode ser devido à baixa mobilidade desses nutrientes dentro da planta.

5.2.2 Quantidade de nutrientes na serapilheira produzida

A produção de serapilheira reflete as características físicas e químicas do conjunto de espécies que a produziu, influenciando diretamente na quantidade e qualidade dos nutrientes que retornam ao solo e posteriormente à vegetação (Facelli & Pickett 1991). Os resultados mostraram que o trecho mais preservado do PEFI retornou maiores quantidades de nutrientes em relação ao trecho dominado pelo bambu (Tabelas 21 e 22) e estão de acordo com os encontrados por Dezzeo & Chacón (2006), Gairola *et al.* (2009) e Lopes *et al.* (2009) que demonstraram redução do retorno de nutrientes em florestas impactadas por algum distúrbio ou perturbação.

Quando se compara as quantidades de nutrientes transferidos pela serapilheira (Tabelas 17 a 20) com as concentrações de nutrientes no material depositado (Tabelas 9 a 14) entre os anos de 2008 e 2012, verifica-se que as diferenças estatísticas existentes entre as áreas diminuíram, sendo elas principalmente relacionadas ao CT (nitrogênio, fósforo, magnésio e manganês). Isso é devido ao fato dos valores transferidos serem obtidos da multiplicação da quantidade da serapilheira produzida pela concentração dos nutrientes. As quantidades de elementos transferidas pelas folhas, por exemplo, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os anos estudados. Assim, em termos gerais, o evento de floração e morte do bambu parece não ter afetado o fluxo de nutrientes ao longo dos anos na área do CT.

O fluxo anual de macronutrientes do PEFI está entre os menores obtidos para as florestas do Estado de São Paulo (Meguro *et al.* 1979, César 1993b, Diniz *et al.* 1997, Araújo 2006, Lopes *et al.* 2009, Pagano & Durigan 2009, Schlittler *et al.* 2010) e demais formações brasileiras (Tabela 28). Os menores retornos de nutrientes foram encontrados nas florestas da Caatinga, Restinga e Cerrado e aquelas degradadas pela poluição atmosférica de Cubatão, em Santo André, SP (Tabela 28). Excetuando-se estas florestas, o retorno de nitrogênio, por exemplo, apresentou variação de 42 a 230 kg ha⁻¹ ano⁻¹, o fósforo situou-se na faixa de 1 a 14 kg ha⁻¹ ano⁻¹, o potássio na faixa de 6 a 98 kg ha⁻¹ ano⁻¹, o cálcio variou entre 14-349 kg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto o magnésio e enxofre entre 3-61 e 3-46 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Observa-se, desta maneira, variação no retorno dos nutrientes, onde as florestas mais preservadas e em maior estágio sucessional retornam maiores quantidades de nutrientes pela serapilheira.

O baixo retorno de nutrientes na floresta do PEFI pode ser resultado do fragmento estar “ilhado” na área urbana de São Paulo e sujeito a diversos impactos na sua estrutura que estariam interferindo nos processos funcionais desta floresta, como a fragmentação, o efeito de borda e

poluição. A baixa similaridade florística encontrada entre o fragmento do PEFI e a outros localizados na cidade de São Paulo (Gomes 1992) ressalta este grau de isolamento. Assim, a condição de distrofia e baixa fertilidade do solo do PEFI (Tabelas 4 e 5), os impactos na vegetação e a diferente composição de espécies estejam possivelmente influenciando na baixa quantidade de nutrientes retornada ao solo pela queda da serapilheira.

5.3 Serapilheira Acumulada

O maior estoque de serapilheira sobre o solo foi encontrado na área sem domínio do bambu em quase todas as coletas realizadas (Tabela 23). Nesta área, a taxa de decomposição e de ciclagem do material orgânico foi menor ($K = 0,80$) do que a encontrada no trecho do CienTec ($K = 0,96$). Os tempos de renovação dos estoques de serapilheira variaram de 1,03 anos no CienTec a 1,25 anos no IBt. A maior decomposição na área com dominância do bambu sugere a existência de condições mais favoráveis para o desenvolvimento deste processo, como maior temperatura do ambiente, serapilheira com melhor qualidade nutricional (menor relação C/N) e/ou ao maior desenvolvimento da comunidade decompositora (Aerts 1997, Zhang *et al.* 2008).

Os estoques acumulados sobre o solo da área do IBt foram sempre superiores no período úmido, não havendo diferenças entre os períodos secos amostrados. No trecho do CT, entretanto, houve alterações nos estoques acumulados, tanto entre os anos como entre os períodos secos e úmidos, indicando algum tipo de interferência do florescimento e morte de *A. aristulata* e de seu posterior restabelecimento na área, uma vez a produção de serapilheira foi semelhante entre os anos estudados (Tabela 7). Assim, na área com subosque dominado pelo bambu em um primeiro momento (período úmido/2009), após sua morte massiva, o material acumulou-se sobre o solo elevando o estoque de serapilheira. Em um segundo momento (períodos secos de 2009 e 2010), ocorreu a diminuição do material acumulado, em função da sua decomposição e, num terceiro momento (período seco/2011 a seco/2012), durante a fase de restabelecimento do bambu, em função da maior cobertura do solo pela espécie, aumentou-se o estoque total de serapilheira acumulado sobre o solo.

Conforme dados de Vinha *et al.* (2011), a floresta mais preservada do PEFI possui abertura significativamente menor do dossel quando comparada a do CT, conforme pode ser observado na Figura 6. Além disso, em locais onde houve a morte em massa do bambu, mudanças ambientais no subosque da floresta foram constatadas, como aumento da intensidade de luz, da temperatura do ar e diminuição da umidade do ar e do solo (Giordano *et al.* 2009, Marchesini *et al.* 2009, Budke *et al.*

2010, Abe *et al.* 2001). Desta maneira, associando estes dois aspectos, a redução no estoque na área do CT, após 01 ano da morte do bambu, pode ter sido acelerada. Embora, a lenta decomposição de espécies de bambu tenha sido apontada por vários autores (Liu *et al.* 2000, Triparthi *et al.* 2006, Campanello *et al.* 2007, Dinakaran & Krishnayya 2010, Watanabe *et al.* 2013), a espécie *A. aristulata* parece ter uma decomposição mais rápida, uma vez que durante as amostragens realizadas nos períodos secos de 2009 e de 2010 foram identificados na serapilheira acumulada baixa quantidade de folhas ou ramos do bambu. Assim, estudos sobre a decomposição e qualidade nutricional desta espécie se fazem necessários.

A influência do bambu na camada de serapilheira tem sido estudada em algumas florestas. Abe *et al.* (2001), como no presente trabalho, também observaram reduções do estoque dois anos após a morte do bambu. Rai (2009), Takahashi *et al.* (2007) e Montti *et al.* (2011), por outro lado, não encontraram diferenças na camada de serapilheira acumulada sobre o solo, indicando ausência de diferenças em função da reduzida taxa de decomposição das espécies de bambu analisadas. Desta maneira, parece que a condição ambiental, o tipo de bambu e a qualidade do seu material, são aspectos importantes que determinam a quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo das florestas ocupadas por espécies de bambus.

O acúmulo de serapilheira sobre o solo nas áreas estudadas do PEFI, principalmente a do IBt, está entre os mais altos encontrados para as florestas do Estado de São Paulo (Lopes *et al.* 2009, Morellato, 1992, Cesar 1993a, Moraes 2002, Vital *et al.* 2004, Schlittler *et al.* 2010), ou mesmo, a de outras áreas de Floresta Ombrófila Densa no Brasil (Tabela 30), mas semelhantes aos obtidos por Varjabedian & Pagano (1988) e Diniz & Pagano (1997) em São Paulo e ao de Côrrea *et al.* (2006) em Rondônia, locais onde, também, a taxa de decomposição da serapilheira foi baixa. Ao visualizarmos a Tabela 30, há uma alta variabilidade no estoque acumulado entre as florestas brasileiras, onde o maior estoque ora é encontrado em florestas de estágios sucessionais mais avançados, ora de estágios iniciais. Isto está muito relacionado à composição de espécies (iniciais ou secundárias), à taxa de decomposição do material, à temperatura e umidade, ao desenvolvimento da comunidade microbológica, à produção de serapilheira e ao fechamento do dossel (Werneck *et al.* 2001, Descheemaeker *et al.* 2006, Caldeira *et al.* 2008, Hayashi *et al.* 2012). No presente trabalho, o fechamento do dossel, bem como a baixa decomposição do material na floresta do IBt podem ter contribuído para o elevado estoque encontrado.

Quando comparamos ao trabalho de Moraes (2002) em que o estoque esteve na faixa de 7680 kg ha⁻¹ e a taxa de decomposição 1,23 ao ano, os resultados obtidos no presente estudo mostram que o estoque de serapilheira mais alto (10338 kg ha⁻¹), a produção de serapilheira

semelhante ($8271 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e a taxa de decomposição mais baixa (0,80) sugerem que a floresta do IBt está mantendo o ciclo de nutrientes muito mais dependente da comunidade vegetal, pelo controle das entradas e dos estoques de nutrientes, ou seja, dos reservatórios, permitindo seu estabelecimento neste solo de baixa fertilidade.

Tabela 30. Serapilheira acumulada e quantidade de macronutrientes (kg ha^{-1}) em diferentes estudos realizados em Floresta Ombrófila Densa do Brasil.

Local	Estágio de Regeneração	Serapilheira Acumulada kg ha^{-1}	Macronutrientes na Serapilheira Acumulada (kg ha^{-1})						Fonte
			N	P	K	Ca	Mg	S	
Blumenau, SC	Estágio inicial	4470	67	3	12	40	13	7	1
Blumenau, SC	Estágio intermediário	5020	73	3	12	61	13	7	1
Blumenau, SC	Estágio avançado	5280	89	3	9	41	14	9	1
Antonina, PR	Estágio inicial	3786	39	3	15	27	7	-	2
Antonina, PR	Estágio intermediário	7216	96	4	9	16	14	-	2
Antonina, PR	Estágio avançado	3922	31	3	4	21	8	-	2
Santo André, SP	Degradada (+ poluída)	8174	138	7	7	55	6	27	3
Santo André, SP	Degradada (- poluída)	8989	155	7	8	54	7	29	3
Santo André, SP	Degradada (- poluída)	6615	106	5	7	74	7	10	4
Cubatão, SP	Estágio inicial	3943	97	2	7	32	7	7	5
Cubatão, SP	Estágio avançado	4088	100	2	6	34	7	7	5
Cubatão, SP	Degradada (+ poluída)	5804	233	6	11	72	9	11	5
São Paulo, SP	Perturbada - bambu	7090	136	3	8	56	6	9	este estudo
São Paulo, SP	Preservada	10338	191	5	11	95	8	13	este estudo
Silva Jardim, RJ	Estágio intermediário	5757	16	4	12	87	19	17	6
Silva Jardim, RJ	Estágio avançado	7513	12	3	7	58	16	11	6
Floresta Azul, BA	Preservada	6100	116	3	19	195	19	-	7
Capitão do Poço, PA	Primária	3570	61	1	2	11	9	-	8
Capitão do Poço, PA	Estágio inicial	6700	90	2	4	57	14	-	8
Capitão do Poço, PA	Estágio intermediário	5630	69	2	3	48	12	-	8
Capitão do Poço, PA	Estágio intermediário	5650	99	1	3	43	9	-	8
Capitão do Poço, PA	Estágio avançado	3730	62	1	2	25	8	-	8
Ouro Preto do Oeste, RO	Estágio inicial	12740	296	13	61	237	25	17	9

Fonte: 1 - Caldeira *et al.* (2008); 2 - Dichow (2010); 3 - Domingos *et al.* (2000); 4 - Lopes *et al.* (2009); 5 - Leitão Filho *et al.* (1993); 6 - Borém & Ramos (2002); 7 - Curvelo *et al.* (2009); 8 - Hayashi *et al.* (2012), 9 - Côrrea (2005).

5.3.1 Concentração e quantidade de nutrientes na serapilheira acumulada

A concentração de nutrientes presentes na serapilheira acumulada não apresentou diferenças entre os anos de estudo (Tabela 24), isto demonstra uniformidade nas concentrações dos nutrientes independente das diferenças do estoque acumulado entre os períodos úmido e seco (Tabela 23), dos nutrientes constantemente adicionados ao solo florestal pela produção de serapilheira (Tabelas 17 a 20), da taxa de decomposição entre as áreas e do restabelecimento do bambu, no trecho do CT.

Assim, neste trecho do PEFI, apesar do florescimento e morte massiva do bambu, a qualidade da serapilheira acumulada sobre o solo, permanece a mesma.

De modo geral, encontrou-se menor concentração de nutrientes no período úmido, conforme também verificado por Borém & Ramos (2002), o que pode estar relacionada ao fato de haver maiores taxas de decomposição do material neste período e/ou aos processos de lixiviação dos elementos pela água chuva.

Ao avaliarmos todos os dados, assim como na produção de serapilheira (Tabelas 15 e 16), as concentrações de cálcio, enxofre, boro e zinco foram maiores na serapilheira estocada na área do IBt e as de manganês no CT (Tabela 25). Isto indica imobilização na camada orgânica e menor disponibilidade destes elementos no sistema solo-planta nestes trechos.

Apesar da concentração de nitrogênio na serapilheira produzida do IBt (Tabela 9), ter diminuído ao longo do período estudado, para o acúmulo no solo observou-se o contrário (Tabela 24). Isto possui estreita relação com a menor taxa de mineralização do material ($K = 0,80$), maior relação C/N do solo (Tabela 4), maior tempo de residência (Tabela 31) e maior eficiência na utilização do nitrogênio pelas plantas.

A menor taxa de decomposição estimada para o IBt influenciou diretamente no maior tempo de residência nutrientes, em relação ao CT (Tabela 31). Staelens *et al.* (2011), também, observaram rápida ciclagem de elementos em florestas perturbadas, ao contrário de Domingos *et al.* (2000) que encontraram maior tempo de residência em área afetada pela poluição atmosférica, muito em função da baixa produção, do alto acúmulo sobre o solo e da baixa decomposição na floresta impactada. Desta maneira, em função do solo ser pobre em nutrientes, da menor produção, estoque e fluxos de nutrientes, a ciclagem de nutrientes torna-se mais rápida, de modo que os nutrientes estão mais disponíveis na floresta do CienTec.

As quantidades de nutrientes contidos na serapilheira acumulada, assim como na serapilheira produzida, foram significativamente maiores para o trecho mais preservado (Tabela 27), estes resultados foram distintos dos obtidos por Tripathi *et al.* (2006) que encontraram semelhanças nos conteúdos de nitrogênio entre locais com bambu vivo e morto. As quantidades dos nutrientes estão entre as mais altas dentre as formações de Floresta Ombrófila Densa (Tabela 30). Os conteúdos de nitrogênio e cálcio apresentaram os maiores valores, seguidos por magnésio, enxofre e fósforo. Em função da maior variabilidade do material estocado, não se observou um padrão de estoque de nutrientes entre florestas preservadas, degradadas ou em diferentes estágios sucessionais.

Em relação aos micronutrientes poucos trabalhos analisaram os conteúdos presentes na serapilheira. Caldeira *et al.* (2008), Leitão Filho *et al.* (1993) e Lopes *et al.* (2009) encontraram a seguinte sequência de elementos Fe > Mn > Zn > B > Cu para diferentes estágios sucessionais e para floresta pouco afetada pela poluição. No presente estudo, apenas os conteúdos de cobre foram superiores ao boro. Os estoques de ferro e manganês mostraram-se distintos dos conteúdos na serapilheira produzida (Tabela 22), sugerindo acúmulo de ferro em função do maior tempo de residência na camada de serapilheira.

Tabela 31. Tempo de residência do nutriente (anos) na serapilheira acumulada sobre o solo nas áreas sem domínio (IBt) e com domínio de bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP

Nutriente	IBt	CT
	Tempo de residência	
N	1,49	1,18
P	1,05	0,84
K	0,48	0,49
Ca	1,18	0,97
Mg	0,61	0,58
S	1,03	0,98
B	0,54	0,52
Cu	2,22	2,10
Fe	5,32	4,04
Mn	0,52	0,45
Zn	1,80	1,53

Legenda: T = L/NF, onde: L = quantidade de nutrientes na serapilheira acumulada, LF = quantidade de nutrientes na serapilheira produzida (Gosz *et al.* 1976)

5.4 Dinâmica dos nutrientes na floresta do PEFI

A eficiência no uso dos nutrientes é um índice que avalia o funcionamento do ecossistema, onde valores mais elevados indicam uma melhor eficiência na produção de biomassa por unidade do nutriente. Ele é expresso através da relação entre a massa seca da produção de serapilheira pela quantidade de nutrientes nela contida (Vitousek 1982).

A floresta do IBt mostrou maior eficiência no uso do nitrogênio, fósforo e magnésio, enquanto a do CT para potássio, cálcio e enxofre (Tabela 32). Isto demonstra que a floresta mais preservada do PEFI possui mecanismos de conservação interna dos nutrientes mais eficiente dos

elementos relacionados diretamente com a produtividade primária, como por exemplo pela retranslocação de nutrientes das partes senescentes, como estratégia das plantas em minimizarem a perda de nutrientes e suprir a demanda de nutrientes para o crescimento. As menores concentrações destes elementos na serapilheira produzida (Tabela 15) e a alta produção de serapilheira (Tabela 6) encontrada neste trecho evidenciam este aspecto.

O fato da sequência de eficiência no uso dos nutrientes nos trechos estudados ($P > S > Mg > K > Ca > N$) ser inversa às concentrações encontrados na serapilheira ($N > Ca > K > Mg > S > P$) sugere que os processos de conservação dos nutrientes se fazem presentes nesta floresta.

Assim, apesar de haver um menor retorno de nutrientes pela floresta do PEFI em relação a outras florestas brasileiras (Tabela 28), os valores de nitrogênio, fósforo e potássio foram semelhantes aos obtidos por Hinkel (2002) e Côrrea (2005), menores aos de Parron (2004) e superiores aos de Cunha *et al.* (1993), Domingos *et al.* (2000) e Pinto *et al.* (2009). Estas diferenças nos diferentes ecossistemas podem ocorrer em função da fertilidade do solo, onde em condição distrófica ocorre uma melhor eficiência no uso dos nutrientes, uma vez que a capacidade das plantas em reter os nutrientes nos tecidos vegetais passa a ser mais importante do que a habilidade em adquiri-los (Vitousek & Stanford 1986), ou ainda, como resultado da perda da capacidade dos mecanismos de conservação dos nutrientes em florestas impactadas por distúrbios (Domingos *et al.* 2000).

Tabela 32. Eficiência no uso dos nutrientes (EUN) nas áreas sem domínio (IBt) e com domínio de bambu (CT) na floresta do PEFI, São Paulo, SP

Nutriente	IBt	CT
	Eficiência no uso dos nutrientes	
N	64	58
P	1887	1756
K	365	397
Ca	102	116
Mg	652	616
S	650	763

Legenda: EUN = LF/NF. Em que: LF = massa seca da serapilheira produzida ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), NF = quantidade de nutrientes na serapilheira produzida ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) (Vitousek 1982)

Ao avaliarmos a distribuição dos nutrientes nos compartimentos da produção de serapilheira e do estoque acumulado sobre o solo das áreas estudadas (Tabela 33), verifica-se que os fluxos e o

reservatório no sistema solo-planta foram maiores na área sem domínio do bambu. Este trecho da floresta mostra-se mais preservado e em estágio sucessional mais avançado, onde o processo de ciclagem de nutrientes tornou-se mais dependente da vegetação e com mecanismos de melhor eficiência no uso dos nutrientes (Tabela 32).

Os fluxos de potássio, magnésio, boro e manganês foram mais elevados que o estoque acumulado sobre o solo, enquanto que para o enxofre e fósforo foram semelhantes. As maiores quantidades de nitrogênio, cálcio, cobre, ferro e zinco na serapilheira acumulada, por outro lado, destaca este compartimento como importante reservatório destes nutrientes, como se pode observar pelo maior tempo de residência (Tabela 31).

A maior produção e acúmulo de serapilheira, a alta quantidade e estoque de nutrientes, bem como, a maior eficiência no uso de nutrientes na área IBt refletem o grau de preservação e desenvolvimento desta área em estágio sucessional mais avançado. A dominância do subosque pela *A. aristulata*, portanto, alterou os aspectos funcionais no sistema solo-planta.

Tabela 33. Fluxos ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e estoques (kg ha^{-1}) de serapilheira e de nutrientes na floresta do PEFI em duas áreas sob diferentes domínios do bambu *A. aristulata* no subosque: IBt (mais preservado e sem dominância do bambu) e CT (com dominância do bambu)

	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT
	Quantidade		N		P		K		Ca		Mg	
Fluxos ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)												
Serapilheira produzida												
Folhas	5544	4381	92,0	79,7	3,0	2,5	16,4	12,6	55,2	38,2	9,8	8,1
Material Lenhoso	2226	1848	30,2	24,8	0,9	0,7	3,9	2,5	23,8	18,0	2,2	2,2
Flores	168	209	2,0	5,4	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	0,2	0,3
Frutos/Sementes	284	340	5,1	5,5	0,4	0,3	1,7	1,4	1,2	1,1	0,4	0,4
Miscelânea	49	59	1,1	1,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,1	0,1
Total	8271	6837	130,4	116,9	4,5	3,9	22,6	17,3	81,4	58,9	12,7	11,1
Estoques (kg ha^{-1})												
Serapilheira acumulada	10338	7090	191	136	5	3	11	8	95	56	8	6
	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT	IBt	CT
	S		B		Cu		Fe		Mn		Zn	
Fluxos ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)												
Serapilheira produzida												
Folhas	9,2	6,2	0,40	0,24	0,09	0,07	2,4	2,0	8,8	9,6	0,38	0,26
Material Lenhoso	2,8	2,1	0,06	0,05	0,06	0,04	1,2	0,8	2,5	2,8	0,28	0,18
Flores	0,2	0,3	0,01	0,01	0,00	0,00	0,1	0,1	0,1	0,2	0,01	0,02
Frutos/Sementes	0,4	0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,2	0,2	0,01	0,01
Miscelânea	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01
Total	12,7	9,0	0,48	0,31	0,17	0,12	3,9	3,1	11,7	12,9	0,69	0,48
Estoques (kg ha^{-1})												
Serapilheira acumulada	13	8	0,3	0,2	0,4	0,3	20,0	11,9	5,9	5,7	1,2	0,7

6 CONCLUSÕES

A produção e o estoque de serapilheira acumulado sobre o solo, bem como, os fluxos e os estoques de nutrientes na serapilheira foram mais elevados no trecho mais preservado da floresta do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga. A maior eficiência na utilização dos nutrientes, a baixa decomposição do material e o maior tempo de residência dos nutrientes na serapilheira acumulada sugerem a manutenção dos reservatórios de nutrientes neste trecho.

Durante o período de quatro anos de estudo (2008-2012) a deposição de serapilheira foliar, lenhosa, frutos e sementes na floresta do PEFI foi uniforme. Apenas a fração flores apresentou menor produção na área dominada pelo bambu no período de 2009-2010.

A deposição foi contínua ao longo do ano, mas variável entre os meses. A sazonalidade marcada com maior produção de serapilheira no período úmido e menor no período seco foi semelhante à de outras Florestas Ombrófilas Densas. A maior queda de folhas ocorreu entre os meses de novembro e dezembro; de partes lenhosas entre janeiro e fevereiro, de partes reprodutivas entre outubro e fevereiro. A menor produção ocorreu nos meses de maio a julho.

Houve correlação positiva entre as variáveis meteorológicas e a produção de serapilheira na floresta do PEFI: o vento relacionou-se com a queda de folhas, material lenhoso e frutos/sementes; a radiação solar com a deposição de material foliar; a precipitação com a queda de partes lenhosas; e a temperatura com a produção de órgãos reprodutivos.

O florescimento e morte massiva do bambu *Aulonemia aristulata* na floresta do PEFI não influenciaram a produção de serapilheira, bem como seus fluxos e estoques de nutrientes durante o período de 2008-2012. A ausência de diferenças entre os anos avaliados demonstra uma possível resiliência desta floresta, indicando uma adaptação ao distúrbio. O estoque acumulado e as concentrações de nutrientes na serapilheira produzida apresentaram-se, por outro lado, como bons indicadores das alterações proporcionadas pela espécie.

A ciclagem de nutrientes e a dinâmica da serapilheira no trecho dominado pelo bambu foram muito mais alteradas em função do histórico de ocupação da floresta pela espécie do que em relação ao impacto do florescimento e morte do bambu *Aulonemia aristulata* ocorrido nos anos de 2007-2008.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abe, M., Miguchi, H. & Nakashizuki, T.** 2001. An interactive effect of simultaneous death of dwarf bamboo canopy gap, and predatory rodents on beach regeneration. *Oecologia* 127:281-286.
- Abreu, J.R.S.P., Oliveira, R.R. & Montezuma, R.C.M.** 2010. Dinâmica da serapilheira em um trecho de Floresta Atlântica secundária em área urbana do Rio de Janeiro. *Pesquisas Botânica* 61:279-291.
- Aerts, R.** 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79(3):439-449.
- Aerts, R. & Chapin III, F.S.** 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research* 30:1-67.
- Alves, G.T.R.** 2007. Aspectos da história de vida de *Guadua tagoara* (Nees) Kunth (Poaceae: Bambuseae) na Serra dos Órgãos, RJ. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Anaya, C.A., Jaramillo, V.J., Martínez-Yrizar, A. & García-Oliva, F.** 2012. Large rainfall pulses control litter decomposition in a tropical dry Forest: evidence from a 8-year study. *Ecosystems* 15:652-663.
- Andivia, E., Fernández, M., Vázquez-Piqué, J., González-Pérez, A. & Tapias, R.** 2010. Nutrients return from leaves and litterfall in a mediterranean cork oak (*Quercus suber* L.) forest in southwestern Spain. *European Journal of Forest Research* 129:5-12.
- Arato, H.D., Martins, S.V., Ferrari, S.H.S.** 2003. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore* 27(5):715-721.
- Araújo, A.R.B.** 2006. Fatores edáficos condicionantes da distribuição das espécies arbóreas em remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.
- Araújo, J.F. & Haridassan, M.** 2007. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 30(3):533-542.
- Araújo, L.S.** 2008. Padrões e condicionantes da dinâmica da paisagem na floresta com bambus do Parque Estadual de Intervales, SP. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Araújo, R.S., Piña Rodrigues, F.C.M., Machado, M.R., Pereira, M.G. & Frazão, F.J.** 2006. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. *Floresta & Ambiente* 12(2):15-21.
- Arunachalam, A. & Arunachalam, K.** 2002. Evaluation of bamboos in eco-restoration of ‘jhum’ fallows in Arunachal Pradesh: ground vegetation, soil and microbial biomass. *Forest Ecology and Management* 159:231-239.
- Baker, T.R., Swaine, M.D. & Burslem, D.F.R.P.** 2003. Variation in tropical forest growth rates: combined effects of functional group composition and resource availability. *Perspective in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 6(1/2):21-36.

- Bambi, P.** 2007. Variação sazonal do índice da área foliar e sua contribuição na composição da serapilheira e ciclagem de nutrientes na Floresta de Transição no norte do Mato Grosso. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.
- Barbosa, J.H.C. & Farias, S.M.** 2006. Aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguesia* 57(3):461-476.
- Barbosa, L.M., Potomati, A. & Peccinini, A.A.** 2002. O PEFI: histórico e legislação. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma Reserva Biológica na cidade de São Paulo, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp.15-26.
- Barbosa, R.I. & Fearnside, P.M.** 1996. Carbon and nutrient flows in Amazonia forest: fine litter production and composition at Apiauí, Roraima, Brazil. *Tropical Ecology* 37(1):115-125.
- Barnes P., Wilson, B.R., Reid, N., Koen, T.B., Lockwood, P. & Lamb, D.W.** 2011. Litterfall and associated nutrient pools extend beyond the canopy of scattered eucalypt trees in temperate pastures. *Plant Soil* 345:339-352.
- Barros, F., Mamede, M.C.H., Melo, M.M.R.F., Lopes, E.A., Juang-Mendaçolli, S.L., Kirizawa, M., Muniz, C.F.S., Makiko-Watanabe, H., Chiea, S.A.C. & Sant'Anna, T.** 2002. A flora fanerogâmica do PEFI: composição, afinidades e conservação. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma Reserva Biológica na cidade de São Paulo, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp.93-110.
- Baskin, J.M.** 2009. Death of bamboo triggers regeneration of overstory tree in a Southern beech forest. *New Phytologist* 181:749-751.
- Bhatti, J.S., Apps, M.J. & Jiang, H.** 2002. Influence of nutrients, disturbances and site conditions on carbon stocks along a boreal forest transect in central Canada. *Plant and Soil* 242:1-14.
- Benham, S.E., Vanguelova, E.I. & Pitman, R.M.** 2012. Short and long term changes in carbon, nitrogen and acidity in the forest soils under oak at the Alice Holt Environmental Change Network site. *Science of the Total Environment* 421-422:82-93.
- Berg, B. & McLaugherty, C.** 2008. Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. 2ed. Germany, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bianchin, J.E.** 2013. Aporte de fitomassa e nutrientes em florestas secundárias da Mata Atlântica no litoral do Paraná. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Boeger, M.R.T., Wisniewski, C. & Reissmann, C.B.** 2005. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no sul do Brasil. *Acta Botânica Brasílica* 19(1):167-181.
- Borém, R.A.T. & Ramos, D.P.** 2002. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. *Cerne* 8(2):42-59.
- Bray, J.R. & Gorham, E.** 1964. Litter production in forest of the world. *Advances in Ecological Research* 2:101-157.
- Britez, R.M.** 1994. Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Bristot, D.** 2008. O efeito da substituição da Floresta com Araucária por monoculturas sobre a deposição de serrapilheira e a ciclagem de nutrientes. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

- Budke, J.C., Alberti, M.S., Zanardi, C., Baratto, C. & Zanin, E.M.** 2010. Bamboo dieback and tree regeneration responses in a subtropical forest of South America. *Forest Ecology and Management* 260:1345-1349.
- Caldeira, M.V.W., Vitorino, M.D., Schaadt, S.S., Moraes, E. & Balbinot, R.** 2008. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. *Semina: Ciências Agrárias* 29(1):53-68.
- Calvi, G.P., Pereira, M.G., Espíndula Júnior, A.** 2009. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de Floresta Atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. *Ciência Florestal* 19(2):131-138.
- Campanello, P.I., Gatti, M.G., Ares, A., Montti, L. & Goldstein, G.** 2007. Tree regeneration and microclimate in a liana and bamboo-dominated semideciduous Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management* 252:108-117.
- Cardelus, C.L.** 2010. Litter decomposition within the canopy and forest floor of tree species in a tropical lowland rain forest, Costa Rica. *Biotropica* 42(3):300-308.
- Carvalho, P.G., van Mellis, J., Ascensão, B.M., Cestari, F.M., Alves, L.F. & Grombone-Guaratini, M.T.** 2011. Abundância e biomassa de lianas em um fragmento de floresta Atlântica. *Hoehnea* 38(2):307-314.
- Cecon, K.** 2003. Deposição de elementos traço em solo de floresta de Mata Atlântica via serapilheira. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- César, O.** 1993a. Produção de serapilheira na Mata Mesófila Semidecidua da fazenda Barreiro Rico, município de Anhembi, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, 53(4):671-681.
- César, O.** 1993b. Nutrientes minerais da serapilheira produzida na Mata Mesófila Semidecidua da fazenda Barreiro Rico, município de Anhembi, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, 53(4):659-669
- Chave, J., Navarrete, Almeida, S., Álvarez, E., Aragão, L.E.O.C., Châtelet, P., Silva-Espejo, J.E., Gorete, J.Y., von Hildebrand, P., Jiménez, E., Patiño, S., Peñuela, M.C., Phillips, O.L., Stevenson, P. & Malhi, Y.** 2009. Regional and temporal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences* 7:43-55.
- Chen, C. & Xu, Z.** 2010. Forest ecosystem responses to environmental changes: the key regulatory role of biogeochemical cycling. *Journal of Soils and Sediments* 10:210-214.
- Christanty, L., Mailly, D. & Kimmins, J.P.** 1996. "Whithout bamboo, the land dies": biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system. *Forest Ecology and Management* 87:75-88.
- Cianciaruso, M.V., Pires, J.S.R., Delitti, W.B.C. & Silva, E.F.L.P.** 2006. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Botânica Brasílica* 20(1):49-59.
- Condit, R., Engelbrecht, B.M.J., Pino, D., Pérez, R. & Turner, B.L.** 2013. Species distributions in response to individual soil nutrients and seasonal drought across a community of tropical trees. *PNAS* 110(13): 5064-5068.
- Côrrea, F.L.O.** 2005. Ciclagem de nutrientes em sistema agroflorestal com espécies frutíferas e florestais em Rondônia, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Côrrea, F.L.O., Ramos, J.D., Gama-Rodrigues, A.C. & Müller, M.W.** 2006. Produção de serapilheira em sistema agroflorestal multiestratificado no Estado de Rondônia, Brasil. *Ciência e Agrotecnologia* 30(6):1099-1105.

- Costa, C.C.A., Camacho, R.G.V., Macedo, I.D. & Silva, C.M.** 2007. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de Caatinga na Flona de Açu-RN. *Revista Árvore* 34(2):259-265.
- Curvello, K., Calasans, N.A., Lobão, D.E., Sodré, G.A., Pereira, J.M., Marrocos, P.C.L., Barbosa, J.W. & Valle, R.R.** 2009. Aporte de nutrientes na serapilheira e na água do solo em cacau-cabruca, floresta secundária e pastagem. *Agrot pica* 21(1):55-664.
- Custódio Filho, A., Franco, G.A.D.C., Poggiani, F. & Dias, A.C.** 1996. Produ o de serapilheira e o retorno de macronutrientes em Floresta Pluvial Atlântica – Esta o Biológica de Borac cia (São Paulo – Brasil). *Revista do Instituto Florestal* 8(1):1-16.
- Cunha, G.C., Grendene, L.A., Durlo, M.A. & Bressan, D.A.** 1993. Dinâmica nutricional em Floresta Estacional Decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposi o da serapilheira. *Ciência Florestal* 3(1):35-64.
- Dantas, M. & Phillipson, J.** 1989. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonia “terra firme” rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 5:27-36.
- Davison, C.P.** 2006. Estrutura e composi o da vegeta o de sub-bosque em dois trechos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo-SP. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.
- Davison, C.P.** 2009. Estrutura de clareiras e a presença de bambu em um fragmento de Floresta Atlântica, SP, Brasil. Disserta o de Mestrado, Instituto de Botânica, São Paulo.
- Delitti, W.B.C.** 1995. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. *Oecologia Brasiliensis* 1:469-486.
- Dent, D.H., Bagchi, R., Robinson, D., Majalap-Lee, N. & Burslem, D.F.R.P.** 2006. Nutrient fluxes via litterfall and leaf litter decomposition vary across a gradient of soil nutrient supply in a lowland tropical rain forest. *Plant Soil* 288:197-215.
- Descheemaeker, K., Muys, B., Nyssen, I., Poesen, J., Raes, D., Haile, M., Deckers, J.** 2006. Litter production and organic matter accumulation in exclosures of the Tigray highlands, Ethiopia. *Forest Ecology and Management* 233:21-35.
- De Schrijver, A., Geudens, G., Wuyts, K., Staelens, J.M. Gielis, L. & Verheyen, K.** 2009. Nutrient cycling in two continuous cover scenarios for Forest conversion of pine plantations on Sandy soil. I. Nutrient cycling via aboveground tree biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 39:441-452.
- De Vuono, Y.S., Lopes, M.I.M.S. & Domingos, M.** 1984. Polui o atmosférica e elementos tóxicos na Reserva Biológica do Instituto de Botânica, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 7(2):149-156.
- De Vuono, Y.S., Lopes, M.I.M.S. & Domingos, M.** 1988. Altera es provocadas pela polui o atmosférica na fertilidade do solo da Reserva Biológica do Instituto de Botânica, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 11:95-100.
- Dezseo, N. & Chacón, N.** 2006. Litterfall and nutrient input in undisturbed and adjacent fire disturbed forests of the Gran Sabana, southern Venezuela. *Interciencia* 31(2):894-899.
- Dias, H.C.T. & Oliveira Filho, A.T.** 1997. Varia o temporal e espacial da produ o de serapilheira em uma área de Floresta Estacional Semidecídua montana em Lavras-MG. *Revista  rvore* 21(1):11-26.
- Dickow, K.M.C.** 2010. Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- Dickow, K.M.C., Marques, R., Pinto, C.B. & Höfer, H.** 2012. Produção de serapilheira em diferentes fases de uma Floresta Subtropical secundária, em Antonina, PR. *Cerne* 18(1):75-86.
- Dinakaran, J. & Krishnaya, N.S.R.** 2010. Variations in soil organic carbon and litter decomposition across different tropical vegetal covers. *Current Science* 90(8):1051-1061.
- Diniz, S. & Pagano, S.N.** 1997. Dinâmica de folheto em Floresta Mesófila Semidecídua no município de Araras, SP. I – Produção, decomposição e acúmulo. *Revista do Instituto Florestal* 9(1):27-36.
- Diniz, S., Pagano, S.N. & Bini, L.M.** 1997. Dinâmica de folheto em Floresta Mesófila Semidecídua no município de Araras, SP. II – Fluxo de macronutrientes. *Revista do Instituto Florestal* 9(1):37-46.
- Dios, V.R., Yoshida, T. & Iga, Y.** 2005. Effects of topsoil removal by soil-scarification on regeneration dynamics of mixed forests in Hokkaido, Northern Japan. *Forest Ecology and Management* 215:138-148.
- Domingos, M., Lopes, M.I.M.S. & De Vuono, Y.S.** 2000. Nutrient cycling disturbance in Atlantic Forest sites affected by air pollution coming from the industrial complexo of Cubatão, Southeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 23(1):77-85.
- Domingos, M., Moraes, R.M., De Vuono, Y.S. & Anselmo, C.E.** 1997. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes em um trecho de Mata Atlântica secundária, na Reserva Biológica de Paranapiacaba, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 20:91-96.
- Domingos, M., Poggiani, F., De Vuono, Y.S. & Lopes, M.I.M.S.** 1990. Produção de serapilheira na floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. *Hoehnea* 171:47-58.
- EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisas de Solos).** 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2ed. EMBRAPA-CNPS, Rio de Janeiro, Brasil.
- EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisas de Solos).** 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ed. EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro, Brasil.
- Espig, S.A., Freire, F.J., Marangon, L.C., Ferreira, R.L.C., Freire, M.B.G. & Espig, D.B.** 2008. Composição e eficiência da utilização biológica de nutrientes em fragmento de Mata Atlântica em Pernambuco. *Ciência Florestal* 18(3):307-314.
- Espig, S.A., Freire, F.J., Marangon, L.C., Ferreira, R.L.C., Freire, M.B.G. & Espig, D.B.** 2009. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de Mata Atlântica. *Revista Árvore* 33(5):949-956.
- Facelli, J.M. & Pickett, S.T.A.** 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review* 57:1-32.
- Fernandes, A.J., Reis, A.M. & Carvalho, A.** 2002. Caracterização do meio físico. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma Reserva Biológica na cidade de São Paulo, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp.49-62.
- Fernandes, F.C.S.** 2005. Produção de liteira, concentração e estoque de nutrientes em floresta nativa e capoeira. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.
- Fernandes, M.E.B., Nascimento, A.A.M., Carvalho, M.L.** 2007. Estimativa da produção anual de serapilheira dos bosques de mangue no Furo Grande, Bragança, Pará. *Revista Árvore* 31(5):949-958.

- Ferrari, J.B.** 1999. Fine-scale patterns of leaf litterfall and nitrogen cycling in an old-growth forest. *Canadian Journal of Forest Research* 29:291-302.
- Ferreira, F.M., Costa, A.F. & Forzza, R.C.** 2009. Bambusoideae (Poaceae) no Parque Estadual de Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 27(2):203-218.
- Filgueiras, T.S. & Gonçalves, A.P.S.** 2004. A checklist of the basal grasses and bamboos (Poaceae) in Brazil. *Bamboo Science and Culture: the Journal of the American Bamboo Society* 1:7-18.
- Fujii, K., Hartono, A., Funakawa, S., Uemura, M., Sukartiningsih & Kosaki, T.** 2011. Acidification of tropical forest soils derived from serpentine and sedimentary rocks in East Kalimantan, Indonesia. *Geoderma* 160:311-323.
- Gagnon, P.R. & Platt, W.J.** 2008. Multiple disturbances accelerate clonal growth in a potentially monodominant bamboo. *Ecology* 89(3):612-618.
- Gairola, S., Rawal, R.S. & Dhar, U.** 2009. Patterns of litterfall and return of nutrients across anthropogenic disturbances gradients in three subalpine forests of West Himalaya, India. *Journal of Forest Research* 14:73-80.
- García-Palacios, P., Maestre, F.T., Kattge, J. & Wall, D.H.** 2013. Climate and litter quality differently modulate the effects of soil fauna on litter decomposition across biomes. *Ecology Letters* 16(8):1045-1053.
- Gavazov, K.S.** 2010. Dynamics of alpine plant litter decomposition in a changing climate. *Plant Soil* 337:19-32.
- Giácomo, R.G., Pereira, M.G. & Machado, D.L.** 2012. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de Cerradão e Mata Mesofítica na Estação Ecológica de Pirapitinga-MG. *Ciência Florestal* 22(4):669-680.
- Gilman, L.N., Wright, S.D. & Ogden, J.** 2003. Response of forest tree seedlings to simulate litterfall damage. *Plant Ecology* 169:53-60.
- Giordano, C.V., Sánchez, R.A. & Austin, A.T.** 2009. Gregarious bamboo flowering opens a window of opportunity for regeneration in a temperate forest of Patagonia. *New Phytologist* 191:880-889.
- Godinho, T.O., Caldeira, M.V.W., Caliman, J.P., Prezotti, L.C., Watzlawick, L.F., Azevedo, H.C.A. & Rocha, J.H.T.** 2013. Biomassa, macronutrientes e carbon organic depositada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual submontana, ES. *Scientia Florestalis* 41(97):131-144.
- Gomes, E.P.C.** 1992. Fitossociologia do componente arbóreo de um trecho de Mata em São Paulo, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- González, M.E., & Donoso, C.** 1999. Producción de semilla y hojarasca em *Chusquea quilla* (Poaceae: Bmabusoideae), posterior a sua floración sincrónica em la zona centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 72:169-180.
- González, M.E., Veblen, T.T., Donoso, C. & Valeria, L.** 2002. Tree regeneration responses in a lowland *Notophagus* dominated forest after bamboo dieback in South-Central Chile. *Plant Ecology* 161:59-73.
- Gosz, J.R., Likens, G.E. & Bormann, F.H.** 1976. Organic matter and nutrient dynamics of the forest and forest floor in the Hubbard Brook forest. *Oecologia* 22:305-320.

- Griscom, B. W. & Ashton, P.M.S.** 2003. Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. *Forest Ecology and Management* 175:445-454.
- Grombone-Guaratini, M.T., Alves, L.F., Vinha, D. & Franco, G.A.D.C.** 2014. Seed rain in areas with and without bamboo dominance within an urban fragment of the Atlantic Forest. *Acta Botanica Brasilica* 28(1):76-85.
- Grombone-Guaratini, M.T., Nascimento, A.L. & Santos-Gonçalves, A.P.** 2011. Flowering and fruiting of *Aulonemia aristulata*: a gynomonoeicious woody bamboo species from Atlantic Forest in Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 34(1):135-140.
- Guilherme, F.A.G., Oliveira Filho, A.T., Appolinário, V. & Bearzoti, E.** 2004. Effects of flooding regime and woody bamboos on tree community dynamics in a section of tropical semideciduous forest in South-Eastern Brazil. *Plant Ecology* 174:19-36.
- Haase, R.** 1999. Litterfall and nutrient return in seasonally flooded and non-flooded forest of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. *Forest Ecology and Management* 117:129-147.
- Han, W.X., Fang, J.Y., Reich, P.B., Woodward, F.I. & Wang, Z.H.** 2011. Biogeography and variability of eleven mineral elements in plant leaves across gradients of climate, soil and plant functional type in China. *Ecological Letters* 14:788-796.
- Hansson, K., Olsson, B.A., Olsson, M., Johansson, U. & Kleja, D.B.** 2011. Differences in soil properties in adjacent stands of Scots pine, Norway spruce and silver birch in SW Sweden. *Forest Ecology and Management* 262:522-530.
- Hardtle, W., von Oheimb, G., Friedel, A., Meyer, H. & Westphal, C.** 2004. Relationship between pH-values and nutrient availability in forest soils – the consequences for the use of ecograms in forest ecology. *Flora* 199: 134-142.
- Hättenschwiler, S., Aeschlimann, B., Coûteaux, M.M., Roy, J. & Bonal, D.** 2008. High variation in foliage and leaf litter chemistry among 45 tree species of a neotropical rainforest community. *New Phytologist* 179:165-175.
- Hättenschwiler, S., Tiunov, A.V. & Scheu, S.** 2005. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36:191-218.
- Hayashi, S.N.** 2006. Dinâmica da serapilheira em uma cronossequência de florestas no município de Capitão Poço-PA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.
- Hayashi, S.N., Vieira, I.C.G., Carvalho, C.J.R. & Davidson, E.** 2012. Linking nitrogen and phosphorus dynamics in litter production and decomposition during secondary forest succession in the eastern Amazon. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais* 7(3):283-295.
- Hinkel, R.** 2002. Aspectos da ciclagem de nutrientes em dois estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa do Parque Municipal da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, SC. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Hooper, D.U. & Vitousek, P.M.** 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277(5330):1302-1305.
- Hora, R.C., Primavesi, O. & Soares, J.J.** 2008. Contribuição das folhas de lianas na produção de serapilheira em um fragmento de floresta estacional semidecidual em São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 31(2):277-285.
- Huang, Y. H., Li, Y.S., Xiao, Y., Wenigmann, K.O., Zhou, G.Y., Zhang, D.Q., Wenigmann, M., Tang, X.L. & Liu, J.X.** 2011. Controls of litter quality on the carbon sink in soils through

partitioning the products of decomposing litter in a forest succession series in South China. *Forest Ecology and Management* 261:1170-1177.

- Isagi, Y., Kawahara, T., Kamo, K. & Ito, H.** 1997. Net production and carbon cycling in a bamboo *Phyllostachys pubescens* stand. *Plant Ecology* 123:132-133.
- Janzen, D.H.** 1976. Why bamboos wait so long to flower. *Annual Review of Ecology and Systematics* 7:347-391.
- Jobbágy, E.G. & Jackson, R.B.** 2001. The distribution of soil nutrients with depth: global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry* 53:51-77.
- Johnson, D.W., Miller, W.W., Susfalk, R.B., Murphy, J.D., Dahlgren, R.A. & Glass, D.W.** 2008. Biogeochemical cycling in forest soils of the eastern Sierra Nevada Mountains, USA. *Forest Ecology and Management* 258:2249-2260.
- Kimmins, J.P.** 2004. *Forest Ecology: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forest*. 3ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp.72-138.
- Köhler, L., Holscher, D. & Leuschner, C.** 2008. High litterfall in old-growth and secondary upper montane forest of Costa Rica. *Plant Ecology* 199:163-173.
- Larpkern, P., Moe, S.R., Totland, O.** 2011. Bamboo dominance reduces tree regeneration in a disturbed tropical forest. *Oecologia* 165:161-168.
- Laskowski, R., Niklinska, M. & Maryanski, M.** 1995. The dynamics of chemical elements in forest litter. *Ecology* 76(5):1393-1406.
- Lawrence, D.** 2005. Regional-scale variation in litter production and seasonality in Tropical Dry Forests of Southern Mexico. *Biotropica* 37(4):561-570.
- Leitão Filho, H.F., Pagano, S.N., Cesar, O., Timoni, J.L. & Rueda, J.J.** 1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. São Paulo: Unesp/Unicamp.
- Lima, R.A.F., Rother, D.C., Muler, A.E., Lepsch, I.F. & Rodrigues, R.R.** 2012. Bamboo overabundance alters forest structure and dynamics in the Atlantic Forest hotspots. *Biological Conservation* 147:32-39.
- Liu, W., Fox, J.E.D. & Xu, Z.** 2000. Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in a montane moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan, south-west China. *Ecological Research* 15:435-447.
- Liu, W., Fox, J.E.D. & Xu, Z.** 2003. Litterfall and nutrient dynamics in a montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao mountains, SW China. *Plant Ecology* 164(2):157-170.
- Lopes, M.I.M.S., De Vuono, Y.S. & Domingos, M.** 1990. Serapilheira acumulada na Floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. *Hoehnea* 17(1):59-70.
- Lopes, M.I.M.S., Domingos, M. & De Vuono, Y.S.** 2002. Ciclagem de nutrientes minerais. In: Sylvestre, L.S., Rosa, M.M.T (eds.). *Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica*. Rio de Janeiro: Seropédica, pp.72-103.
- Lopes, M.I.M.S., Santos, A.R., Moraes, R.M. & Kirizawa, M.** 2009. Ciclagem de nutrientes e alterações no solo induzidos pela poluição atmosférica. In: Lopes, M.I.M.S., Kirizawa, M., Melo, M.M.R.F. (orgs.). *Patrimônio da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba: a antiga Estação Biológica do Alto da Serra*. São Paulo: Instituto de Botânica, pp.137-164.

- Lugo, A.E., Silver, W.L. & Colón, S.M.** 2004. Biomass and nutrient dynamics of restored neotropical forests. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 4:731-746.
- Ma, X., Heal, K.V., Liu, A. & Jarvis, P.G.** 2007. Nutrient cycling and distribution in different-aged plantations of Chinese fir in southern China. *Forest Ecology and Management* 243:61-74.
- Malavolta, E.** 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638p.
- Malavolta, E., Vitti, G.C. & Oliveira, S.A.** 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisas da Potassa e do Fosfato, 201p.
- Marchesini, V.A., Sala, O.E. & Austin, A.T.** 2009. Ecological consequences of a massive flowering event of bamboo (*Chusquea culeou*) in a temperate forest of Patagonia, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 20:424-432.
- Marimon B.S.** 2007. Relação entre diversidade arbórea e aspectos do ciclo biogeoquímico de uma floresta monodominante de *Brosimum rubescens* Taub. E uma floresta mista no leste Mato-Grossense. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Martins, S.V., Colletti Júnior, R, Rodrigues, R.R. & Gandolfi, S.** 2004. Colonization of gaps produced by death of bamboo clumps in a semideciduos mesophytic forest in South-eastern Brazil. *Plant Ecology* 172:121-131.
- Meguro, M., Vinueza, G.N. & Delitti, W.B.C.** 1979. Ciclagem de nutrientes minerais na Mata Mesófila secundária – São Paulo. I – Produção e conteúdo de nutrientes minerais no folheto. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 7:11-31.
- Merino, A., Real, C. & Rodríguez-Gutián, M.A.** 2008. Nutrient status of managed and natural forest of *Fagus sylvatica* in a southern Europe. *Forest Ecology and Management* 255:3691-3699.
- Milla, R., Castro-Díez, P., Maestro-Martínez, M. & Montserrat-Martí, G.** 2005. Relationships between phenology and the remobilization of nitrogen, phosphorus and potassium in branches of eight Mediterranean evergreens. *New Phytologist* 168:167-178.
- Mlambo, D. & Nyathi, P.** 2008. Litterfall and nutrient return in a semi-arid southern African savanna dominated by *Colophospermum mopane*. *Plant Ecology* 196:101-110.
- Mochiutti, S., Queiroz, J.A.L., Melém Júnior, N.J.** 2006. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes de um povoamento de Taxi-branco e de uma floresta secundária no Amapá. *Boletim de Pesquisa Florestal* 52:3-20.
- Montti, L., Campanello, P.I., Gatti, M.G., Blundo, C., Austin, A.T., Sala, O.E. & Goldstein, G.** 2011. Understory bamboo flowering provides a very narrow light window of opportunity for canopy-tree recruitment in a neotropical forest of Misiones, Argentina. *Forest Ecology and Management* 262(8):1360-1369.
- Moraes, R.M.** 2002. Ciclagem de nutrientes na floresta do PEFI: Produção e decomposição da serapilheira. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma reserva Biológica na cidade de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp.133-142.
- Moraes, R.M., Delitti, W.B.C. & De Vuono, Y.S.** 1999. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests. *Revista Brasileira de Botânica* 22(1):9-16.
- Morellato, L.P.C.** 1992. Nutrient cycling in two south-east Brazilian forests, 1: litterfall and litter standing-crop. *Journal of Tropical Ecology*, 8:205-215.

- Müller, M.** 2011. Serapilheira, carbono e nutrientes minerais em área de revegetação induzida na planície do rio Itajaí-Açu. Dissertação de Mestrado, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- Olson, J.S.** 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44(2): 322-331.
- Pagano, S.N. & Durigan, G.** 2009. Aspectos da ciclagem de nutrientes em Matas Ciliares do Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. In: R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho (eds.). *Matas Ciliares: conservação e recuperação*. 2ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Fapesp.
- Parron, L.M.** 2004. Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico, em uma Mata de Galeria no Distrito Federal. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Peccinini, A.A. & Pivello, V.R.** 2002. Histórico de uso das terras e condição da vegetação do PEFI. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.). *Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma Reserva Biológica na cidade de São Paulo*, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp.251-258.
- Peters, R., Nakashiruzuka, T. & Ohkubo, T.** 1992. Regeneration and development in beech-dwarf bamboo forest in Japan. *Forest Ecology and Management* 55:35-50.
- Pimenta, J.A., Rossi, L.B., Torezan, J.M.D., Cavalheiro, A.L. & Bianchini, E.** 2011. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma Floresta Estacional Semidecidual no sul do Brasil. *Acta Botânica Brasílica* 25(1):53-57.
- Pinto, C.B. & Marques, R.** 2003. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. *Revista Floresta* 33(3):257-264.
- Pinto, S.I.C., Martins, S.V., Barros, N.F. & Dias, H.C.T.** 2008. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. *Revista Árvore* 32(3):545-556.
- Pinto, S.I.C., Martins, S.V., Barros, N.F. & Dias, H.C.T.** 2009. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Floresta Mata do Paraíso em Viçosa, MG, Brasil. *Revista Árvore* 33(4):653-663.
- Pivello, V.R. & Peccinini, A.A.** 2002. A vegetação do PEFI. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.). *Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma Reserva Biológica na cidade de São Paulo*, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp.75-92.
- Poggiani, F. & Schumacher, M.V.** 2000. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: Gonçalves, J.L.M. & Benedeti, V. *Nutrição e fertilização florestal*. Piraciba: IPEF, pp.287-308.
- Portes, M.C.G.O.** 2000. Deposição de serapilheira e decomposição foliar em Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Morro do Anhangava, Serra da Baitaca, Quatro Barras - PR. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Portillo-Estrada, M., Korhonen, J.F.J., Pihlatie, M., Pumpanen, J., Frumau, A.K.F., Morillas, L., Tosens, T. & Niinemets, Ü.** 2013. Inter- and intra-annual variations in canopy fine litterfall and carbon and nitrogen inputs to the forest floor in two European coniferous forests. *Annals of Forest Science* 70:367-379.
- Posada, J.M. & Schuur, E.A.G.** 2011. Relationships among precipitation regime, nutrient availability, and carbon turnover in tropical rain forests. *Oecologia* 165:783-795.
- Prado, R.M.** 2008. *Nutrição de plantas*. São Paulo: Editora UNESP, 407p.

- Rai, P.K.** 2009. Comparative assessment of soil properties after bamboo flowering and death in a Tropical Forest of Indo-Burma hot spot. *Ambio* 38(2):118-120.
- Reis, L.A.M.** 2002. Resíduos sólidos e líquidos encontrados no PEFI. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma Reserva Biológica na cidade de São Paulo, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp.259-270.
- Roberts, M.L. & Bilby, R.E.** 2009. Urbanization alters litterfall rates and nutrient inputs to small Puget Lowland streams. *Journal of the North Bentological Society* 28(4):941-954.
- Ross, D.S., Matschonat, G. & Skyllberg, U.** 2008. Cation exchange in forest soils: the need for a new perspective. *European Journal of Soil Science* 59:1149-1159.
- Rother, D.C., Rodrigues, R.R. & Pizo, M.A.** 2009. Effects of bamboo stands on seed limitation in a rainforest. *Forest Ecology and Management* 257:885-892.
- Royo, A.A. & Carson, W.P.** 2006. On the formation of dense understory layers in forests worldwide: consequences and implications for forest dynamic, biodiversity, and succession. *Canadian Journal Forest Research* 36:1345-1362.
- Ruiz-Jaén, M.C. & Aide, T.M.** 2005. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. *Forest Ecology and Management* 218:159-173.
- Sanaullah, M., Rumpel, C., Charrier, X. & Chabbi, A.** 2011. How does drought stress influence the decomposition of plant litter with contrasting quality in a grassland ecosystem? *Plant and Soil* 352(1-2):277-288.
- SanClements, M.D., Fernandez, I.J. & Norton, S.A.** 2010. Soil chemical and physical properties at the Bear Brook Watershed in Maine, USA. *Environmental Monitoring Assessment* 171:111-128.
- Santana, J.A.S.** 2005. Estrutura fitossociológica, produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de Caatinga no Seridó do Rio Grande do Norte. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Santana, O.A., Encinas, J.I., Silveira, L.S. & Ribeiro, G.S.** 2010. Produção de serapilheira em Floresta de Galeria e Floresta Mesofítica na Dolina da Garapa, Distrito Federal, Brasil. *Cerne* 16(4):585-596.
- Santos, P.M. & Funari, F.L.** 2002. Clima Local. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (eds). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: uma reserva Biológica na cidade de São Paulo, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pp.21-48.
- Santos, S.L. & Válio, I.F.M.** 2002. Litter accumulation and its effects on seedling recruitment in a Southeast Brazilian Forest. *Revista Brasileira de Botânica* 25(1):89-92.
- Sato, T., Kominami, Y., Saito, S., Niiyama, K., Tanouchi, H., Nagamatsu, D. & Nomiya H.** 2010. Temporal dynamics and resilience of fine litterfall in relation to typhoon disturbances over 14 years in an old-growth lucidophyllous Forest in southwestern Japan. *Plant Ecology* 208:187-198.
- Sayer, E.J., Tanner, E.V.J. & Cheesman, A.W.** 2006. Increased litterfall changes fine root distribution in a moist tropical forest. *Plant and Soil* 281:5-13.
- Sayer, E.J. & Tanner, E.V.J.** 2010. Experimental investigation of the importance of litterfall in lowland semi-evergreen tropical forest nutrient cycling. *Journal of Ecology* 98:1052-1062.

- Sayer, E.J., Wright, S.J., Tanner, E.V.J., Yavitt, J.B., Harms, M.N., Powers, J.S., Kaspari, M., Garcia, M.N. & Turner, B.L.** 2012. Variable responses of lowland tropical forest nutrient status to fertilization and litter manipulation. *Ecosystems* 15:387-400.
- Scariot, A.** 2000. Seedling mortality by litterfall in Amazonian forest fragments. *Biotropica* 32(4a):662-669.
- Scheer, M.B., Gatti, G. & Wisniewski, C.** 2011. Nutrient fluxes in litterfall of a secondary successional alluvial rain forest in Southern Brazil. *Revista Biología Tropical* 59(4):1869-1882.
- Schilittler, F.H.M., Rugani, C.A. & Kukurin, I.M.** 2010. Ciclagem de nutrientes em Mata de Brejo e Mata Estacional Semidecidual no município de Brotas, SP, Brasil. *Naturalia* 33:69-84.
- Shirasuna, R.** 2012. Bambus nativos (Poacea-Bambusoideae) no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica, São Paulo.
- Shirasuna, R. & Filgueiras, T.** 2013. Bambus nativos (Poaceae, Bambudoideae) no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil. *Hoehnea* 40(2):315-359.
- Silveira, M.** 1999. Ecological aspects of bamboo-dominated forest in southwestern Amazônia: an ethnoscience perspective. *Ecotropica* 5:213-216.
- Silveira, M.** 2001. A floresta aberta com bamboo no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Singh, A.N. & Singh, J.S.** 1999. Biomass, net production and impact of bamboo plantation on soil redevelopment in a dry tropical region. *Forest Ecology and Management* 119:195-207.
- Souto, P.C., Souto, J.S., Santos, R.V. & Bakke, I.A.** 2009. Características químicas da serapilheira depositada em área de Caatinga. *Caatinga* 22(1):264-272.
- Staelens, J., Ameloot, N., Almonacid, L., Padilla, E., Boeckx, P., Huygens, D., Verheyen, K., Oyarzun, C. & Godoy, R.** 2011. Litterfall, litter decomposition and nitrogen mineralization in old-growth evergreen and secondary deciduous *Nothofagus* forests in south-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 84:125-141.
- Suding, K.N., Larson, J.R., Thorsos, E., Steltzer, H. & Bowman, W.D.** 2004. Species effects on resource supply rates: do they influence competitive interactions. *Plant Ecology* 175:47-58.
- Tabarelli, M & Mantovani, W.** 2000. Gap-phase regeneration in a tropical montane forest: the effects of gap structure and bamboo species. *Plant Ecology* 148:149-155.
- Takahashi, M., Furusawa, H., Limtong, P., Sunantheongsuk, V., Marod, D. & Panuthai, S.** 2007. Soil nutrient status after bamboo flowering and death in a seasonal tropical forest in western Thailand. *Ecological Research* 22:160-164.
- Tao, J.P., Shi, X.P. & Wang, Y.J.** 2012. Effects of different bamboo densities on understory species diversity and trees regeneration in an *Abies faxoniana* forest, Southwest China. *Scientific Research and Essays* 76(6):660-668.
- Teixeira, C.B., Domingos, M., Rebelo, C.F. & Moraes, R.M.** 1992. Produção de serapilheira em floresta residual da cidade de São Paulo: Parque Estadual das Fontes do Ipiranga. *Revista do Instituto Florestal* 4(3):785-789.
- Tian, H., Chen, G., Zhang, C., Melillo, J.M. & Hall, C.A.S.** 2010. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data. *Biochemistry* 98:139-151.
- Toledo, L.O., Pereira, M.G. & Menezes, C.E.G.M.** 2002. Produção de serapilheira de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. *Ciência Florestal* 12(2):9-16.

- Townsend, A.R., Asner, G.P. & Cleveland, C.C.** 2011. The biogeochemical heterogeneity of tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution* 23(8):424-431.
- Travers, S.K. & Eldridge, D.J.** 2013. Increased rainfall frequency triggers an increase in litter fall rates of reproductive structures in an arid eucalypt woodland. *Austral Ecology* 38(7):820-830.
- Tripathi, S.K. & Singh, K.P.** 1994. Productivity and nutrient cycling in recently harvested and mature bamboo savannas in the dry tropics. *Journal of Applied Ecology* 31:109-124.
- Tripathi, S.K. & Singh, K.P.** 1995. Litter dynamics of recently harvested and mature bamboo savannas in a dry tropical region in India. *Journal of Tropical Ecology* 11:403-417.
- Tripathi, S.K., Sumida, A., Ono, K., Shibata, H., Uemura, S., Takahashi, K. & Hara, T.** 2006. The effects of understorey dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) removal on soil fertility in a *Betula ermanii* forest of northern Japan. *Ecological Research* 21:315-320.
- Turner, M.G.** 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91(10):2833-2849.
- Valdepinho, P., Romualdo, R., Cadenazzi, L. & Campo, J.** 2009. Phosphorus cycling in primary and secondary seasonally dry tropical forests in Mexico. *Annals of Forest Science* 66(1):107-114.
- Valenti, M.W., Cianciaruso, M.V. & Batalha, M.A.** 2008. Seasonality of litterfall and leaf decomposition in a cerrado site. *Brazilian Journal Biology* 68(3):459-465.
- Varjabedian, R. & Pagano, S.N.** 1988. Produção e decomposição de folheto em um trecho de Mata Atlântica de Encosta no município do Guarujá, SP. *Acta Botânica Brasílica* 1(2):243-256(supl.).
- Vasconcelos, H.L. & Luizão, F.J.** 2004. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian landscape. *Ecological Applications* 14(3):884-892.
- Vasconcelos, S.S., Zarin, D.J., Araújo, M.M. & Miranda, I.S.** 2012. Aboveground net primary productivity in tropical forest regrowth increases following wetter dry-seasons. *Forest Ecology and Management* 276:82-87.
- Velloso, H.P., Rangel Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A.** 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, 124p.
- Vendrami, J.L., Jurinitz, C.F., Castanho, C.T., Lorenzo, L. & Oliveira, A.A.** 2012. Litterfall and leaf decomposition in forest fragments under different successional phases on the Atlantic Plateau of the state of Sao Paulo, Brazil. *Biota Neotropica* 12(3):1-9.
- Vesterdal, L., Clarke, N., Sigurdsson, B.D. & Gundersen, P.** 2013. Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? *Forest Ecology and Management* 309:4-18.
- Vesterdal, L., Schmidt, I.K., Callesen, I., Nilsson, L.O. & Gundersen, P.** 2008. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management* 255:35-48.
- Vidal, M.M., Pivello, V.R., Meirelles, S.T. & Metzger, J.P.** 2007. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Revista Brasileira de Botânica* 30(3):521-532.
- Villalobos-Vega, R., Goldstein, G., Haridassan, M., Franco, A.C., Miralles-Wilhelm, F., Scholz, F.G. & Bucci, S.J.** 2011. Leaf litter manipulations alter soil physicochemical properties and tree growth in a Neotropical savanna. *Plant Soil* 346:385-397.

- Villela D.M., Nascimento, M.T., Aragão, L.E.O.C. & Gama, D.M.** 2006. Effect of selective logging on Forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Biogeography* 33:506-516.
- Vinha, D., Alves, L.A., Zaidan, L.B.P., Grombone-Guaratini, M.T.** 2011. The potential of the soil seed bank for the regeneration of a tropical urban forest dominated by bamboo. *Landscape and Urban Planning*, 99(2):178-185.
- Vital A.R.T., Guerrini, I.A., Franken, W.K. & Fonseca, R.C.B.** 2004. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária. *Revista Árvore* 28(6):793-800.
- Vitousek, P.M.** 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Society of Naturalists* 119(4):553-572.
- Vitousek, P.M.** 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical ecosystems. *Ecology* 65:285-298.
- Vitousek, P.M. & Sanford Júnior, R.L.** 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 137-167.
- Vogel, H.L.M., Schumacher, M.V., Truby, P. & Vuaden, E.** 2007. Avaliação da devolução de serapilheira em uma Floresta Estacional Decidual em Itaara, RS, Brasil. *Ciência Florestal* 17(3):187-196.
- Wanderley, M.G.L., Shepherd, G.J. & Giulietti, A.M.** 2001. Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo. v.1 (Poaceae). São Paulo: Hucitec.
- Waring, B.G.** 2012. A meta-analysis of climatic and chemical controls on leaf litter decay rates in tropical forests. *Ecosystems* 15:999-1009.
- Watanabe, T., Fukuzawa, K. & Shibata, H.** 2013. Temporal changes in litterfall, litter decomposition and their chemical composition in *Sasa* dwarf bamboo in a natural forest ecosystem of northern Japan. *Journal of Forest Research* 18(2):129-138.
- Weedon, J.T., Cornwell, W.K., Cornelissen, W.K., Zanne, A.E., Wirth, C. & Coomes, D.A.** 2009. Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species? *Ecology Letters* 12:45-56.
- Werneck, M.S., Pedralli, G. & Gieseke, L.F.** 2001. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. *Revista Brasileira de Botânica* 24(2):195-198.
- Wood, T.E., Lawrence, D. & Clarck D.A.** 2005. Variations in leaf nutrients of a Costa Rican rain forest is related to precipitation. *Biochemistry* 73:417-437.
- Wood, T.E., Lawrence, D. & Clarck D.A.** 2006. Determinants of leaf litter nutrient cycling in a Tropical Rain Forest: soil fertility versus topography. *Ecosystems* 9:700-710.
- Wood, T.E. & Lawrence, D.** 2008. No short-term change in soil properties following four-fold litter addition in a Costa Rican rain forest. *Plant Soil* 307:113-122.
- Wright, I.J. & Westoby, M.** 2003. Nutrient concentration, resorption and lifespan: leaf traits of *Australian sclerophyll* species. *Functional Ecology* 17:10-19.
- Xiaogai, G., Lixiong, Z., Wenfa, X., Zhilin, H., Xiansheng, G. & Benwang, T.** (2013). Effect of litter substrate quality and soil nutrients on forest litter decomposition: a review. *Acta Ecologica Sinica* 33:102-108.

- Xu, X. & Hirata, E.** 2005. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics. *Plant and Soil* 273:279-289.
- Xu, S., Liu, L. & Sayer, E.J.** 2013. Variability of aboveground litter inputs alters soil physicochemical and biological processes: a meta-analysis of litterfall-manipulation experiments. *Biogeosciences* 10:7423-7433.
- Zar, J.H.** 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 664p.
- Zhang, C., Xie, G., Fan, S. & Zhen, L.** 2010. Variation in vegetation structure and soil properties, and the relation between understory plants and environmental variables under different *Phyllostachys pubescens* forests in Southeastern China. *Environmental Management* 45:779-792.
- Zhang, D., Hui, D., Luo, Y. & Zhou, G.** 2008. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors. *Journal of Plant Ecology* 1(2):85-93.
- Zhang K., Cheng, X., Dang, H., Ye, C., Zhang, Y. & Zhang, Q.** 2013. Linking litter production, quality and decomposition to vegetation succession following agricultural abandonment. *Soil Biology & Biochemistry* 57:803-813.
- Zhou, B., Fu, M., Xie, J., Yang, X. & Li, Z.** 2005. Ecological functions of bamboo forest: research and application. *Journal of Forest Research* 16(2):143-147.
- Zhou, G., Guan, L., Wei, X., Zhang, X., Liu, S., Liu, J., Zhang, D. & Yan, J.** 2008. Factors influencing leaf litter decomposition: an intersite decomposition experiment across China. *Plant Soil* 311:61-72.
- Zhou, G., Guan, L., Wei, X., Zhang, D., Zhang, Q., Yan, J., Wen, D., Liu, J., Liu, S., Huang, Z., Kong, G., Mo, J. & Yu Q.** 2007. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China. *Plant Ecology* 188:77-89.