



Micronutrientes na serapilheira depositada em florestas secundárias no litoral do Paraná

Jonas Eduardo BIANCHIN^{1*}, Renato MARQUES^{1,2,3}, Hilbert BLUM¹, Elaine Vivian OLIVA²,
Cristine Gobel DONHA², Fabiana Medeiros SILVEIRA², Cilmar Antonio DALMASO²,
Francihele Cardoso MÜLLER², Giovanni Radel VARGAS⁴

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

³ Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁴ Departamento de Matemática, Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil.

*E-mail: jonasbianchin@gmail.com

Recebido em fevereiro/2017; Aceito em junho/2017.

RESUMO: Os micronutrientes são muito importantes na manutenção da fertilidade do solo, sendo sua deposição via serapilheira em Floresta Atlântica ainda pouco estudada. Esse trabalho objetivou avaliar a concentração e o aporte de micronutrientes na serapilheira depositada em áreas secundárias da Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR. A serapilheira foi coletada em três parcelas em diferentes estágios de sucessão secundária, separada em frações e folhas de espécies conhecidas, seca e pesada para realização das análises químicas de Cu, Mn, Fe e Zn. A ordem de concentração dos micronutrientes foi $Mn > Fe > Cu > Zn$, com teores de Mn e Fe relativamente altos. Entre as frações, houve grande variação nos teores de micronutrientes, sendo que a concentração de Cu foi maior nos ramos e miscelânea, o teor de Fe foi maior nas folhas e na miscelânea, o Mn foi superior nos ramos e o Zn foi maior nos ramos e folhas. Houve grande variação nos teores nas estações do ano, sem tendência definida. Os teores de Cu e Fe foram menores na FS-2, enquanto o Zn não apresentou tendência definida. O teor de Mn aumentou com o avanço da sucessão secundária, o que indica bioacumulação deste elemento no solo florestal.

Palavras-chave: ciclagem de micronutrientes, Floresta Atlântica, serapilheira, sucessão florestal.

Micronutrients in litter deposited in a successional gradient of Atlantic Rain Forest in Paraná state, Brazil

ABSTRACT: Micronutrients are very important in the maintenance of soil fertility, and their deposition through litter in the Atlantic Forest is still little studied. This study aimed to evaluate the concentration and input of micronutrients by litterfall in secondary areas of Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR. The litter was collected in three plots at different stages of secondary succession, separated into fractions and leaves of selected species, dried and weighed to perform the chemical analysis of Cu, Mn, Fe and Zn. The concentration order of the micronutrients was $Mn > Fe > Cu > Zn$, with relatively high Mn and Fe contents. Among of litter fractions, there was a great variation in the micronutrient contents, where the concentration of Cu was higher in the branches and miscellaneous, the Fe content was higher in the leaves and in the miscellaneous, the Mn was superior in the branches and the Zn was higher in the branches and leaves. There was a great variation in the contents of the seasons of the year, with no defined trend. Cu and Fe contents were lower in FS-2, while Zn showed no particular trend. Mn content increased with forest succession suggesting bioaccumulation of Mn in the forest soil.

Keywords: micronutrient cycling, Atlantic Forest, litterfall, forest succession.

1. INTRODUÇÃO

A ciclagem de nutrientes é o principal processo de entrada de nutrientes no sistema solo-planta, especialmente na floresta tropical, onde a serapilheira se decompõe mais rápido que em qualquer outro bioma (TOWNSEND et al., 2006). Odum (1988) cita que nas florestas tropicais, geralmente estabelecidas sob um substrato quimicamente pobre, a ciclagem de nutrientes assume extrema importância para a manutenção do equilíbrio e funcionalidade desses ecossistemas. O processo de ciclagem

se dá principalmente pela liberação dos bioelementos presentes na serapilheira, por meio da lixiviação e decomposição, sendo que quantidades significativas de nutrientes podem retornar ao solo pela queda de componentes senescentes da parte aérea de plantas e sua posterior decomposição (TOLEDO et al., 2002).

Os micronutrientes são muito importantes na ciclagem de nutrientes e na fertilidade do solo em Floresta Atlântica. Os nutrientes minerais são classificados, conforme as quantidades exigidas pelas plantas, em macronutrientes e micronutrientes (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Os macronutrientes são absorvidos

em maior quantidade, pois estão relacionados a vários processos e estruturas vegetais. Já os micronutrientes são assim chamados por serem exigidos em quantidades mínimas pelas plantas, pelo fato de não participarem de estruturas da planta, mas da constituição de enzimas ou então atuar como seus ativadores (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Mesmo em pouca concentração nos tecidos das plantas e no solo, os micronutrientes são muito importantes na manutenção da diversidade arbórea da Floresta Atlântica, apesar de serem escassos os estudos (TOLEDO et al., 2002; PINTO; MARQUES, 2003; BOEGER et al., 2005; DICKOW, 2010; VIERA et al., 2010; MARAFIGA et al., 2012; WOICIECHOWSKI, 2015) desenvolvidos sobre micronutrientes.

Vários fatores interferem na dinâmica de ciclagem dos micronutrientes. A concentração e o conteúdo de nutrientes na serapilheira variam em função do tipo de solo, da vegetação, da densidade populacional (NEVES et al., 2001), da fenologia das espécies presentes, do clima e da posição no relevo (GIACOMO, 2009). Destes, a estrutura da floresta parece ser o fator mais importante, uma vez que cada formação vegetal possui uma determinada estrutura fitossociológica, o que determina um padrão característico de deposição de serapilheira ao longo do ano. Considerando o processo de sucessão secundária, a liberação de nutrientes é diferenciada em função das espécies que compõem uma determinada fase de desenvolvimento da floresta (PINTO; MARQUES, 2003), em função ao aumento da complexidade da vegetação ao longo do processo de sucessão secundária, uma vez que cada espécie ou grupo de espécies possuem padrões específicos de deposição de serapilheira e nutrientes em ecossistemas naturais (MARAFIGA et al., 2012). A mobilidade de nutrientes, mais especificamente de micronutrientes, pode ser indicada pelo aporte de serapilheira, já que o aporte pode indicar a concentração e a magnitude do processo de ciclagem biogeoquímica (LEITE et al., 2011).

Assim, esse trabalho teve por objetivo avaliar a concentração e o estoque dos micronutrientes em frações da serapilheira depositada em três áreas de diferentes estágios de sucessão secundária em Floresta Ombrófila Densa Submontana, no município de Antonina, litoral do Paraná.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A serapilheira foi coletada em três áreas de floresta secundária na Reserva Natural da Guaricica (RNG), município de Antonina, PR (coordenadas UTM 733544 E, 7199768 S, zona 22 J). O clima na região é o subtropical úmido mesotérmico, que corresponde ao tipo Cfa da classificação de Köppen (IPARDES, 2001), com ausência de geadas e precipitação relativamente alta, favorecida pelas correntes quentes que trazem umidade do mar para o continente, variando entre 2000 e 3000 mm. A temperatura mínima nos meses mais frios, inferior aos 10 °C, enquanto a temperatura máxima dos meses mais quentes varia em torno dos 35 °C.

Nas parcelas de estudo, de acordo com a classificação realizada em campo, ocorrem solos da classe CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico álico, que segundo Santos et al. (2013) são solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, bem drenados e rasos, com baixa saturação por bases e atividade química da fração argila, sendo que, do ponto de vista químico, são solos relativamente pobres em nutrientes.

A vegetação das parcelas compreende a Floresta Ombrófila Densa Submontana, com altitude entre 30 e 400 metros (IBGE, 2012), que por estar situada numa zona de transição entre a planície litorânea e a Serra do Mar, apresenta condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento vegetal, o que confere a essa fitofisionomia a maior diversidade e riqueza de espécies dentre as formações florestais da Floresta Ombrófila Densa (RODERJAN et al., 2002).

A coleta de serapilheira depositada foi realizada em três parcelas permanentes (100 x 100m), totalizando três hectares, com diferentes idades de regeneração após o último distúrbio, apresentando diferenças estruturais e fitofisionômicas entre si, caracterizando um gradiente sucessional: floresta secundária inicial (FS-1), que sofreu corte raso há cerca de 50 anos; floresta secundária intermediária (FS-2) e floresta secundária avançada (FS-3), ambas sem intervenção humana há aproximadamente 80 anos (ver descrição da área em BIANCHIN et al., 2016). Todos os indivíduos arbóreos e arborescentes com diâmetro (DAP) \geq 5 cm foram mensurados e demarcados pela localização dentro da amostra (por meio de coordenada cartesiana) e com plaquetas de metal fixadas no caule conforme metodologia adaptada do projeto PELD (Pesquisas Ecológicas de Longa Duração).

A distribuição de diâmetro e o padrão espacial das árvores pode ser observado na Figura 2. A amostra FS1 apresentou área basal de 29,7 m² ha⁻¹ com densidade de 1976 indivíduos e riqueza de 82 espécies, sendo que as 10 espécies com maior valor de importância foram respectivamente: *Pera glabrata* (Schott) Poepp. ex Baill.; *Vochysia bifalcata* Warm.; *Tibouchina pulchra* Cogn.; *Casearia sylvestris* Sw.; *Casearia obliqua* Spreng.; *Acinodendron cinerascens* (Miq.) Kuntze; *Cupania oblongifolia* Mart.; *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.; *Nectandra cuspidata* Nees & Mart. e *Nectandra oppositifolia* Nees & Mart. A amostra FS2 apresentou área basal de 33,2 m² ha⁻¹ com densidade de 1922 indivíduos e riqueza de 129 espécies, sendo que as 10 espécies com maior valor de importância foram respectivamente: *Hieronyma alchorneoides* Allemão, *Psychotria mapourioides* DC., *Sloanea guianensis* (Aubl.) Benth., *Cupania oblongifolia* Mart., *Vochysia bifalcata* Warm., *Calyptanthes strigipes* O.Berg, *Bathysa australis* (A.St.-Hil.) K.Schum. *Myrcia pubipetala* Miq., *Casearia obliqua* Spreng. e *Guapira opposita* (Vell.) Reitz. A amostra FS3 apresentou área basal de 30,4 m² ha⁻¹ com densidade de 1762 indivíduos e riqueza de 128 espécies, sendo que as 10 espécies com maior valor de importância foram respectivamente: *Casearia obliqua* Spreng., *Psychotria nuda* (Cham. & Schltdl.) Wawra, *Hieronyma alchorneoides* Allemão, *Psychotria mapourioides* DC., *Cupania oblongifolia* Mart., *Vochysia bifalcata* Warm., *Sloanea guianensis* (Aubl.) Benth., *Euterpe edulis* Mart., *Astrocaryum aculeatissimum* (Schott) Burret, *Bathysa australis* (A.St.-Hil.) K.Schum.

As coletas foram realizadas mensalmente entre outubro de 2009 e setembro de 2010, em 25 coletores de PVC e tela de nylon de 2 mm com 1 m² de área, os quais foram instalados de forma sistemática nas parcelas.

No laboratório, a serapilheira depositada nos coletores foi separada nas seguintes frações: folhas diversas (FD); ramos e galhos com diâmetro inferior a 2 cm (RA); órgãos reprodutivos, como flores, frutos e sementes (OR); e miscelânea (MI), fração na qual foram incluídas todas as partículas de material não enquadrada nas frações anteriores. A fração folhas foi separada de acordo com a espécie, e aquelas não identificadas foram classificadas como folhas diversas. Após a triagem, as frações

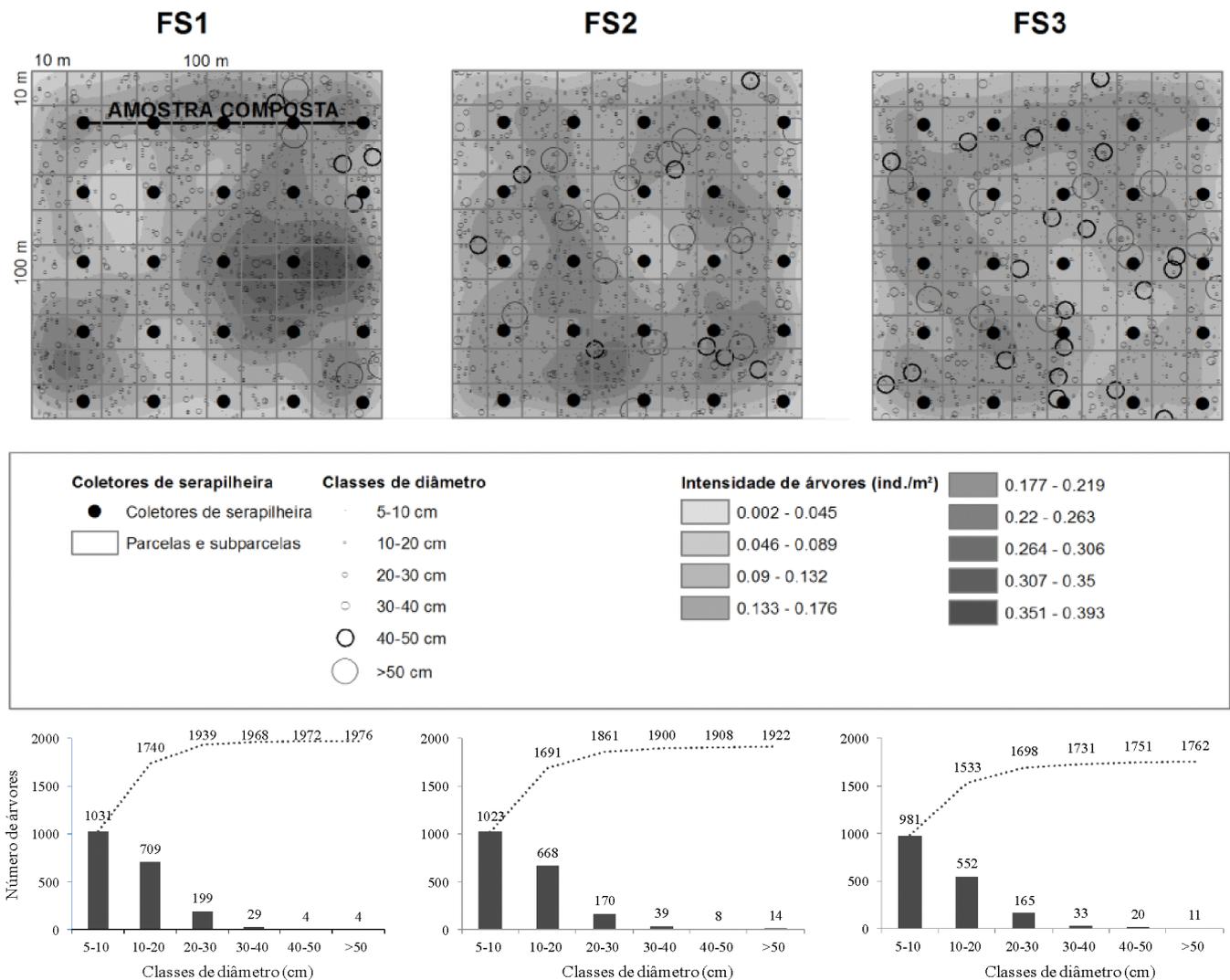


Figura 1. Distribuição espacial e estrutura diamétrica das três áreas de estudo (FS1, FS2 e FS3) em Antonina, PR.
Figure 1. Spatial distribution and diametric structure of the three study areas (FS1, FS2 and FS3) in Antonina, PR.

de serapilheira foram secas em estufa ($60 \pm 2^\circ\text{C}$) até atingir peso constante, sendo em seguida pesadas em balança de precisão. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho de facas e seguiram para análise química.

Para as análises químicas dos micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn), foi realizado o processo de digestão via seca, cujo princípio baseia-se na queima da matéria orgânica resultando em cinza solúvel a ser diluída em ácido clorídrico (MARTINS; REISSMANN, 2007), o que gerou uma solução ácida a partir da qual foi realizada a determinação de micronutrientes. Os teores de Cu, Mn, Fe e Zn foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica. A quantidade de nutrientes depositada por meio da serapilheira em cada sítio foi obtida por meio da multiplicação dos valores dos teores pela quantidade de fitomassa depositada.

A análise estatística foi realizada por meio do software Assistat. A homogeneidade das variâncias dos tratamentos foi verificada pelo teste de Bartlett, como requisito para a aplicação da ANOVA e posterior comparação das médias pelo teste de Tukey, com probabilidade de 95%. Para avaliar a diferença dos teores de micronutrientes entre as frações e estações do ano, foi utilizado o arranjo fatorial (fração x estação), com repetições em cada tratamento. Para as espécies, foi usado delineamento inteiramente casualizado.

3. RESULTADOS

A concentração média anual de micronutrientes na FS-1 (Tabela 1) mostra que a fração ramos foi estatisticamente maior do que as demais para Cu, Mn e Zn. Para o Fe, o maior teor foi encontrado na miscelânea, apesar de não diferir estatisticamente das folhas diversas. Por outro lado, a fração órgãos reprodutivos apresentou menor valor de concentração para todos os micronutrientes, porém sem diferir estatisticamente dos ramos para o Fe.

Com relação às estações, houve interação significativa entre os fatores, com variação no teor dos micronutrientes de acordo com cada fração. O teor de Cu nos ramos e na miscelânea foi maior no outono, enquanto o teor de Mn nas folhas depositadas não apresentou diferença estatística entre o verão e outono. Para os órgãos reprodutivos, os maiores valores foram no verão, sem diferir da primavera. Para o Mn, não houve variação estacional nas folhas e miscelânea, enquanto nos ramos a concentração de Mn foi estatisticamente superior na primavera e verão, e para os órgãos reprodutivos esses valores foram maiores no outono e inverno. O teor de Fe foi maior na primavera para todas as frações, apesar de não diferir estatisticamente do verão, para órgãos reprodutivos, e do verão e outono, para os ramos. Quanto ao Zn, os ramos e as folhas não apresentaram variação estacional, enquanto para a miscelânea o maior valor

Tabela 1. Concentração de micronutrientes nas frações de serapilheira da floresta secundária inicial em Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR.

Table 1. Concentration of micronutrients in litter fractions of the initial secondary forest in Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR.

Fração	Primavera		Verão		Outono		Inverno		Média
	Cu (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	22,21 bcA	(9,1)	25,63 bA	(5,1)	34,94 aA	(5,1)	18,95 cA	(0,2)	25,43 A
Órgãos reprodutivos	17,24 abB	(21,9)	21,90 aAB	(13,1)	14,97 bC	(13,1)	2,00 cC	(86,5)	14,03 C
Miscelânea	19,92 bAB	(9,8)	17,61 bB	(14,0)	28,53 aB	(14,0)	9,97 cB	(10,0)	19,01 B
Folhas diversas	15,28 bB	(3,9)	22,59 aA	(7,2)	24,93 aB	(7,2)	8,33 cB	(14,0)	17,78 B
	Mn (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	448,61 aA	(3,8)	513,94 aA	(8,9)	370,69 bA	(17,1)	465,74 abA	(31,1)	449,74 A
Órgãos reprodutivos	57,66 bC	(20,7)	66,02 bD	(21,1)	92,14 abB	(9,6)	136,62 aC	(11,9)	88,11 D
Miscelânea	234,44 aB	(10,1)	250,83 aC	(3,6)	276,39 aA	(4,2)	296,98 aB	(7,5)	264,66 C
Folhas diversas	365,78 aA	(14,7)	367,91 aB	(12,1)	301,13 aA	(16,8)	340,44 aB	(11,3)	343,82 B
	Fe (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	217,49 aB	(28,5)	143,12 abA	(15,8)	197,69 abA	(8,7)	126,32 bBC	(7,8)	171,16 B
Órgãos reprodutivos	217,50 aB	(18,3)	150,31 abA	(15,3)	121,71 bA	(21,8)	82,96 bC	(49,3)	143,12 B
Miscelânea	385,31 aA	(18,4)	198,67 bA	(2,8)	195,72 bA	(15,7)	272,32 bA	(28,6)	263,00 A
Folhas diversas	378,38 aA	(18,4)	212,21 bA	(2,6)	171,83 bA	(5,7)	193,85 bAB	(11,7)	239,07 A
	Zn (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	25,87 aA	(23,3)	31,30 aA	(11,4)	23,30 aB	(21,6)	27,93 aA	(3,6)	27,10 A
Órgãos reprodutivos	18,56 abA	(21,7)	22,57 aB	(9,0)	16,63 abB	(9,0)	14,33 bB	(28,1)	18,02 C
Miscelânea	22,58 bA	(4,9)	24,92 bAB	(4,1)	36,18 aA	(29,7)	23,55 bA	(12,0)	26,82 AB
Folhas diversas	21,26 aA	(2,8)	24,24 aAB	(9,3)	22,93 aB	(4,1)	21,99 aA	(4,6)	22,61 B

Médias com mesma letra minúscula em linha e letra maiúscula em coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação entre parênteses.

foi encontrado no outono, e para os órgãos reprodutivos não houve variação entre primavera, verão e outono.

A concentração média anual de micronutrientes na FS-2 (Tabela 2) mostra que os órgãos reprodutivos apresentaram maior teor de Cu, e menores teores de Mn, Fe e Zn. A concentração de Fe na miscelânea e Mn nas frações ramos, miscelânea e folhas foram estatisticamente superiores às demais.

Quanto à sazonalidade, a concentração de micronutrientes na FS-2 não apresentou interação significativa entre as frações e as estações do ano para o Mn e o Fe, que foram os micronutrientes mais abundantes. Também não houve efeito da sazonalidade para o teor de Cu nas folhas e miscelânea, e para o teor de Zn

nos ramos e na miscelânea. Para o Cu, a fração ramos apresentou maior teor na primavera, verão e inverno, enquanto que nos órgãos reprodutivos a maior concentração foi na primavera e no outono. Para o Zn, nas folhas o maior teor foi encontrado na primavera e verão, enquanto que para os órgãos reprodutivos, os maiores valores foram na primavera e outono.

Na FS-3 (Tabela 3), os teores de Fe e Mn alcançaram valores relativamente altos, como pode ser observado na fração miscelânea. Analisando as médias anuais, a maior concentração dos micronutrientes foi na fração miscelânea, exceto para o Mn e Zn, onde não houve diferença estatística significativa ($p > 0,05$) com a fração ramos.

Tabela 2. Concentração de micronutrientes nas frações de serapilheira da floresta secundária intermediária em Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR.

Table 2. Concentration of micronutrients in litter fractions of the intermediary secondary forest in Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR.

Fração	Primavera		Verão		Outono		Inverno		Média
	Cu (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	10,65 abB	(19,5)	13,63 abA	(4,2)	9,63 bB	(26)	14,27 aA	(28,2)	12,05 AB
Órgãos reprodutivos	16,98 aA	(5,9)	10,65 bAB	(5,6)	16,63 aA	(12,7)	11,29 bA	(10,3)	13,88 A
Miscelânea	14,29 aAB	(8,0)	12,29 aAB	(4,8)	12,60 aAB	(12,0)	11,97 aA	(8,3)	12,79 AB
Folhas diversas	10,65 aB	(5,7)	8,29 aB	(18,3)	10,97 aB	(47,3)	12,29 aA	(9,3)	10,55 B
	Mn ^{ns} (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	369,37	(22,7)	393,44	(13,6)	395,48	(23,9)	361,14	(37,0)	379,86 A
Órgãos reprodutivos	174,10	(14,1)	162,74	(5,7)	160,59	(10,1)	111,20	(11,8)	152,16 B
Miscelânea	443,51	(2,3)	304,58	(5,4)	320,73	(5,4)	396,56	(9,8)	366,34 A
Folhas diversas	416,42	(12,4)	346,04	(9,9)	336,44	(3,0)	364,36	(14,0)	365,82 A
	Fe ^{ns} (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	65,89	(1,5)	83,80	(7,8)	77,04	(28,4)	81,00	(18,1)	76,93 C
Órgãos reprodutivos	77,56	(22,0)	61,90	(10,8)	99,07	(13,2)	64,41	(32,3)	75,74 C
Miscelânea	143,14	(27,0)	110,62	(14,7)	145,93	(6,1)	153,20	(19,5)	138,22 A
Folhas diversas	112,41	(18,5)	95,79	(5,1)	82,12	(14,1)	109,91	(29,7)	100,06 B
	Zn (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	30,95 aA	(30,8)	28,27 aB	(10,8)	26,57 aA	(15)	17,59 aA	(8,5)	25,84 AB
Órgãos reprodutivos	23,97 abA	(11,0)	20,63 bB	(12,1)	35,57 aA	(39,6)	17,59 bA	(8,6)	24,44 B
Miscelânea	30,57 aA	(18,2)	27,57 aB	(36,3)	25,54 aA	(6,0)	25,92 aA	(30,4)	27,40 AB
Folhas diversas	37,29 abA	(9,5)	42,43 aA	(17,7)	24,60 bA	(6,1)	24,91 bA	(14,5)	32,31 A

Médias com mesma letra minúscula em linha e letra maiúscula em coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = Interação não significativa. Coeficiente de variação entre parênteses.

Tabela 3. Concentração de micronutrientes nas frações de serapilheira da floresta secundária avançada em Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR.

Table 3. Concentration of micronutrients in litter fractions of the advanced secondary forest in Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR.

Fração	Primavera		Verão		Outono		Inverno		Média
	Cu (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	20,25 bAB	(12,8)	14,94 cAB	(13,4)	17,91 bcB	(11,2)	25,25 aA	(8,3)	19,59 B
Órgãos reprodutivos	19,29 bAB	(7,8)	11,96 cB	(8,3)	19,63 bAB	(7,6)	23,58 aA	(13,7)	18,62 BC
Miscelânea	21,97 aA	(7,8)	18,28 bA	(3,2)	21,62 abA	(5,3)	24,94 aA	(4,0)	21,70 A
Folhas diversas	16,93 abB	(5,7)	14,27 bB	(4,3)	17,63 abB	(3,7)	18,31 aB	(8,3)	16,79 C
	Mn (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	780,05 bA	(18,7)	920,23 abA	(11,2)	996,41 aA	(8,6)	783,09 bA	(12,1)	869,95 A
Órgãos reprodutivos	435,01 aB	(7,6)	285,74 aB	(45,8)	356,25 aB	(8,6)	380,90 aB	(14,3)	364,48 C
Miscelânea	801,56 abA	(4,6)	907,28 aA	(0,2)	904,21 aA	(7,3)	686,17 bA	(4,1)	824,80 AB
Folhas diversas	751,62 aA	(4,8)	799,91 aA	(3,9)	847,88 aA	(8,5)	692,40 aA	(5,0)	772,95 B
	Fe (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	608,18 aA	(19,0)	259,27 bB	(11,6)	382,24 bB	(42,2)	276,42 bB	(10,4)	381,53 B
Órgãos reprodutivos	149,02 aB	(19,9)	212,63 aB	(11,0)	291,73 aB	(20,6)	252,27 aB	(41,3)	226,41 C
Miscelânea	557,31 cA	(17,5)	812,23 bA	(15,2)	860,21 bA	(19,0)	2021,91 aA	(7,1)	1062,92 A
Folhas diversas	336,34 aB	(4,2)	381,35 aB	(8,5)	463,74 aB	(25,4)	405,12 aB	(9,7)	396,64 B
	Zn (mg kg ⁻¹)								
Ramos e galhos finos	37,82 aA	(0,4)	26,89 bAB	(10,0)	35,48 aA	(9,1)	33,89 aA	(10,7)	33,52 A
Órgãos reprodutivos	24,28 aB	(6,4)	18,61 bC	(13,5)	18,30 bC	(17,5)	24,58 aB	(16,5)	21,44 B
Miscelânea	39,61 aA	(2,9)	29,58 bcA	(8,4)	25,61 cB	(2,3)	34,25 aA	(6,3)	32,26 A
Folhas diversas	27,56 aB	(2,0)	23,57 abBC	(9,1)	21,95 bBC	(4,2)	21,30 bB	(5,4)	23,59 B

Médias com mesma letra minúscula em linha e letra maiúscula em coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação entre parênteses.

Para as estações do ano, o teor de Cu foi maior no inverno para os ramos, enquanto nas folhas e miscelânea não houve diferença ($p > 0,05$) entre o outono, inverno e verão, já para os órgãos reprodutivos, houve diferença estacional, com menores valores no inverno.

Para o Mn, as frações órgãos reprodutivos e folhas não apresentaram diferença estacional, enquanto nos ramos o maior teor foi nas estações verão e outono, e para a miscelânea foi maior na primavera, verão e outono. O teor de Fe também não teve diferenças estacionais para os órgãos reprodutivos e folhas, enquanto para os ramos o maior teor foi na primavera, e para a miscelânea o maior teor foi encontrado no inverno. Para o Zn, os maiores teores nos ramos foram nas estações primavera, outono e inverno, enquanto para as folhas os maiores teores do micronutriente foram encontrados na primavera e verão. Para a miscelânea, a concentração de Zn foi maior na primavera, e para os órgãos reprodutivos, os valores foram maiores na primavera e inverno.

Os teores de micronutrientes nas folhas das espécies selecionadas (Tabela 4) apresentaram a sequência $Mn > Fe > Zn > Cu$ para a maioria das espécies, à exceção de *Hyeronima alchorneoides* e *Tibouchina pulchra*, que apresentaram a ordem $Fe > Mn > Zn = Cu$, com pouca variação nos teores de Cu e Zn entre as espécies. As folhas da espécie *Cupania oblongifolia* apresentaram teor de Mn estatisticamente superior nas três áreas e maior teor de Fe na FS-1, enquanto *Vochysia bifalcata* apresentou maior teor de Cu na FS-1 e FS-2. Em geral, as folhas de *Pera glabrata* apresentaram menores teores dos micronutrientes em todas as áreas, enquanto o teor de Cu não diferiu ($p > 0,05$) das demais. Para o Zn, a espécie *Miconia sp.* apresentou concentração estatisticamente superior às demais.

Os teores dos micronutrientes na serapilheira apresentaram variação entre as áreas de floresta secundária e as estações do ano. Para o Cu, os valores oscilaram entre 8,3 e 34,9 g kg⁻¹; para o Mn os valores ficaram entre 57,7 e 907,3 g kg⁻¹; para o Fe entre 64,4 e 2021,9 g kg⁻¹; e para o Zn os valores variaram

de 17,6 a 42,4 g kg⁻¹ respectivamente. Em alguns casos, os menores valores de concentração foram encontrados na FS-2, especialmente para Mn e Fe.

A concentração de nutrientes nas frações de serapilheira em função do avanço da sucessão secundária da floresta (Figura 1) tende a aumentar em várias frações e micronutrientes. Em todas as frações, houve aumento dos teores de Mn e Fe com o avanço da sucessão secundária, sendo diferentes ($p > 0,05$) entre si. O teor de Cu nas frações de serapilheira possui comportamento distinto em função da fase de sucessão. Para os ramos, houve diminuição; nos órgãos reprodutivos, não houve diferença entre as fases; já nas folhas e miscelânea as fases, inicial a avançada apresentaram os maiores valores. O teor de Zn aumentou com o avanço da sucessão secundária para os ramos, enquanto nos restos não houve diferença estatística entre as áreas. Para as folhas e órgãos reprodutivos, a maior concentração ocorreu na FS-2.

Comparando as folhas de algumas espécies selecionadas (Figura 2), percebem-se comportamentos distintos em relação ao aumento do estágio sucessional. O Mn foi o micronutriente que apresentou melhor relação com a sucessão, sendo que os teores aumentaram em todas as espécies, assim como foi verificado para as frações, o que sugere a bioacumulação desse micronutriente no solo florestal com o avanço do estágio sucessional. Para o Cu e o Fe, os menores teores foram verificados na FS-2, sendo que os maiores teores foram verificados, na maior parte das espécies, na FS-2, o que sugere que o teor desse micronutrientes decresce com o aumento da sucessão secundária. O Zn, por sua vez, apresentou comportamentos distintos entre as espécies, sendo que as espécies *Cupania oblongifolia* e *Miconia sp.* apresentaram diminuição nos teores, enquanto as demais espécies não diferiram entre os estágios sucessionais.

A maior concentração de Cu e Zn foi observada nas folhas de pixirica (*Miconia sp.*), ambas na FS-2. O covatã (*Cupania oblongifolia*) apresentou os maiores valores de Mn nas três áreas, sendo que na FS-3 a concentração foi de 1,3 g kg⁻¹, o que

Tabela 4. Concentração de micronutrientes nas folhas de algumas espécies de três formações secundárias em Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR.

Table 4. Concentration of micronutrients in the leaves of some species of three secondary formations in Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR.

Área	Espécie	Concentração (mg kg ⁻¹)							
		Cu		Mn		Fe		Zn	
Floresta secundária inicial (FS-1)	<i>Cupania oblongifolia</i>	17,90 ab	(52,1)	714,8 a	(2,8)	314,9 a	(27,9)	29,91 b	(12,4)
	<i>Vochysia bifalcata</i>	22,03 a	(39,1)	184,2 d	(6,4)	170,3 c	(21,9)	14,88 d	(14,6)
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	22,84 a	(33,4)	121,3 e	(16,4)	212,1 bc	(38,9)	20,61 c	(9,4)
	<i>Miconia sp.</i>	19,27 ab	(45,6)	223,4 c	(12,7)	237,8 abc	(42,9)	37,55 a	(10,2)
	<i>Tibouchina pulchra</i>	16,53 ab	(38,5)	35,2 g	(51,4)	231,4 abc	(30,9)	14,53 d	(11,7)
	<i>Nectandra oppositifolia</i>	15,19 ab	(30,3)	289,7 b	(7,3)	176,4 c	(26,3)	19,51 c	(10,5)
	<i>Pera glabrata</i>	12,05 b	(49,3)	159,3 d	(18,9)	193,2 c	(35,0)	13,05 d	(19,2)
	<i>Myrsine ferruginea</i>	11,98 b	(39,1)	63,4 f	(20,6)	308,0 ab	(33,8)	18,46 c	(14,7)
Floresta secundária intermediária (FS-2)	<i>Cupania oblongifolia</i>	7,56 de	(15,5)	671,5 a	(8,6)	111,8 bc	(22,5)	30,58 b	(16,4)
	<i>Vochysia bifalcata</i>	10,05 abcd	(30,2)	149,8 e	(16,6)	67,5 d	(20,6)	18,60 cd	(14,6)
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	13,12 a	(15,1)	144,8 e	(35,7)	117,9 bc	(20,2)	17,94 cd	(28,9)
	<i>Myrcia pubipetala</i>	8,63 bcde	(24,3)	239,5 d	(15,4)	94,3 cd	(16,9)	17,60 cd	(26,3)
	<i>Matayba guianensis</i>	5,82 e	(37,8)	462,9 c	(9,0)	77,9 d	(36,8)	21,94 c	(11,1)
	<i>Miconia sp.</i>	9,48 bcd	(33,8)	273,6 d	(21,2)	94,2 cd	(20,9)	18,95 cd	(20,3)
	<i>Alchornea sp.</i>	11,31 ab	(23,0)	250,4 d	(23,6)	156,4 a	(22,3)	20,30 c	(19,3)
	<i>Casearia sp.</i>	11,05 abc	(18,6)	553,0 b	(9,3)	126,6 ab	(22,6)	36,30 a	(14,1)
	<i>Sloanea guianensis</i>	6,06 e	(27,6)	437,8 c	(9,5)	120,0 bc	(16,1)	14,62 d	(22,3)
	<i>Nectandra oppositifolia</i>	8,06 cde	(38,6)	484,1 c	(9,9)	76,8 d	(25,3)	17,62 cd	(23,4)
<i>Pera glabrata</i>	5,98 e	(37,7)	87,5 e	(31,0)	67,9 d	(26,1)	8,22 e	(33,2)	
Floresta secundária avançada (FS-3)	<i>Cupania oblongifolia</i>	12,4 def	(19,2)	1289,1 a	(18,6)	230,0 c	(19,2)	25,5 bcd	(13,8)
	<i>Vochysia bifalcata</i>	17,2 ab	(11,6)	647,0 e	(19,4)	236,2 c	(32,1)	14,7 g	(18,2)
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	15,6 bcd	(16,9)	268,3 f	(32,4)	269,2 c	(26,0)	18,23 efg	(17,8)
	<i>Myrcia pubipetala</i>	8,4 g	(30,6)	728,8 de	(11,0)	264,5 c	(29,9)	16,6 fg	(23,2)
	<i>Matayba guianensis</i>	10,6 efg	(23,0)	1008,1 b	(10,8)	233,2 c	(19,2)	31,2 ab	(16,4)
	<i>Miconia sp.</i>	14,7 bcd	(23,9)	654,3 de	(16,7)	270,7 c	(28,2)	17,4 efg	(16,4)
	<i>Alchornea sp.</i>	20,7 a	(15,7)	674,7 de	(19,7)	413,3 b	(12,4)	23,2 cde	(22,6)
	<i>Casearia sp.</i>	16,2 bc	(17,2)	1104,3 b	(10,4)	581,6 a	(16,9)	33,3 a	(13,4)
	<i>Sloanea guianensis</i>	10,5 fg	(15,4)	974,4 bc	(11,8)	265,2 c	(25,0)	17,8 efg	(23,7)
	<i>Nectandra oppositifolia</i>	12,5 def	(26,9)	726,2 de	(10,9)	256,8 c	(29,1)	21,0 def	(17,1)
	<i>Pera glabrata</i>	9,6 fg	(27,2)	378,1 f	(30,8)	180,6 c	(19,6)	15,1 fg	(25,8)
	<i>Psychotria nuda</i>	14,1 bcde	(17,7)	746,8 de	(17,9)	379,5 b	(24,4)	29,2 abc	(17,3)
<i>Quiina glaziovii</i>	13,1 cdef	(15,1)	824,8 cd	(15,5)	215,6 c	(25,6)	30,0 ab	(27,0)	

Médias seguidas de mesma letra em coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação entre parênteses.

é um valor considerado alto. Motta et al. (2007) citam que a concentração de Mn nas culturas gira em torno 10 a 50 mg kg⁻¹, podendo atingir 200 mg kg⁻¹ em casos especiais. Com relação ao Fe, a maior concentração foi verificada também para o covatã, com 315 mg kg⁻¹. Os teores de Fe e Mn foram maiores na FS-3 para grande parte das espécies, enquanto para o Cu, os maiores teores foram encontrados na FS-1. Para o teor de Zn, apenas as espécies covatã e pixirica apresentaram diferenças (p>0,05) entre as áreas, sendo maior na FS-1.

O aporte de micronutrientes nas frações de serapilheira nas três áreas de floresta secundária se deu na sequência Mn>Fe>Zn>Cu. O aporte anual de micronutrientes transferidos ao solo pelas frações de serapilheira nas três áreas de floresta secundária (Tabela 5) mostra que, em geral, a fração folhas foi responsável pelo maior aporte dos micronutrientes ao solo seguido pelos ramos e miscelânea, com valores semelhantes entre si, e ainda a fração órgãos reprodutivos depositou as menores quantidades em todas as áreas. Além disso, o aporte de Mn e Fe foi relativamente alto, especialmente para a fração folhas diversas, que foi a responsável pela maior deposição de serapilheira e consequentemente maior aporte destes micronutrientes no solo.

A comparação da quantidade de micronutrientes aportados nas três áreas de floresta secundária (Figura 3) mostra que as menores quantidades foram aportadas na FS-2 e maiores na FS-3 para Fe, Cu e Zn.

Para o Mn, a menor quantidade foi aportada na FS-1, havendo aumento na quantidade aportada para as outras florestas secundárias, sendo que na FS-3 o valor aportado é relativamente alto, especialmente por se tratar de um micronutriente (Figura 3). O aporte de Mn apresentou ajuste ao modelo linear (r² = 0,856), o que indica aumento linear no aporte desse micronutriente com o avanço da sucessão secundária. Os demais micronutrientes não apresentaram bom ajuste ao modelo linear, o que indica que o aporte desses micronutrientes em função do aumento do estágio sucessional não é linear.

4. DISCUSSÃO

Nas frações de serapilheira nas três áreas de floresta secundária, a sequência de concentração de micronutrientes foi Mn>Fe>Zn>Cu, com pouca diferença entre o Zn e o Cu. A mesma ordem de concentração de micronutrientes na serapilheira foi verificada em alguns estudos realizados em Floresta Atlântica (SILVA, 1984; PINTO; MARQUES, 2003; DICKOW, 2010; WOICIECHOWSKI, 2015), em florestas estacionais (TOLEDO et al., 2002; VIERA et al., 2010; MARAFIGA et al., 2012) e em povoamento de *Pinus taeda* (SCHUMACHER et al., 2008).

O padrão temporal de concentração do Cu maiores no inverno e menores no verão se deve provavelmente à mobilidade do elemento na planta. Malavolta et al. (1997)

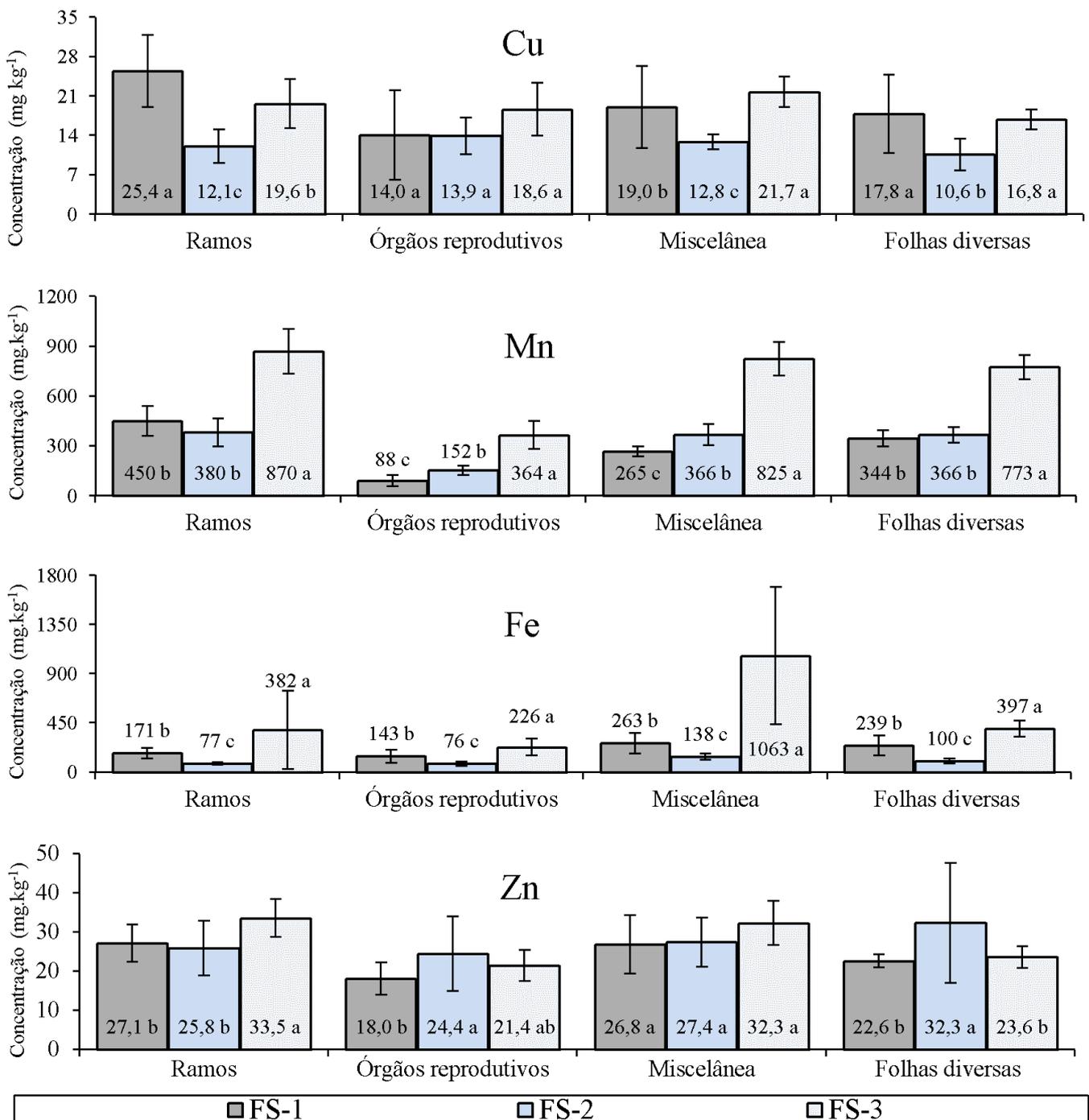


Figura 2. Teor de micronutrientes nas frações de serapilheira com o avanço da sucessão secundária em Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR.

Figure 2. Content of micronutrients in litter fractions along a secondary succession in Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR.

citam que a mobilidade do Cu é relativa, sendo que em plantas bem nutridas pode ser redistribuído das folhas velhas às outras partes. No entanto, em plantas com carência nutricional, esse micronutriente é imóvel (MOTTA et al., 2007). Assim, em áreas de solo com fertilidade natural baixa, como é o caso das áreas de Floresta Atlântica da região de estudo, a serapilheira do período mais chuvoso tende a apresentar menor quantidade deste elemento. Por outro lado, Viera et al. (2010) encontraram correlação positiva significativa da concentração de Cu com a precipitação, enquanto os teores de Mn não variaram entre os meses do ano, na serapilheira depositada em floresta estacional.

A variação de micronutrientes na serapilheira dentro das áreas de floresta secundária e nas estações do ano pode estar relacionada à estrutura da floresta, que condiciona uma composição de espécies com menor quantidade desses micronutrientes. A concentração do Mn e Fe alcançou valores relativamente altos, sendo que esse padrão também foi observado por Pinto; Marques (2003), nas folhas de algumas espécies, e por Dickow (2010) nas frações de serapilheira de diferentes fases de sucessão secundária em Floresta Atlântica. A baixa mobilidade do Fe justifica os teores elevados encontrados na serapilheira depositada (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; MALAVOLTA, 2006, CALDEIRA et al., 2008). A mobilidade

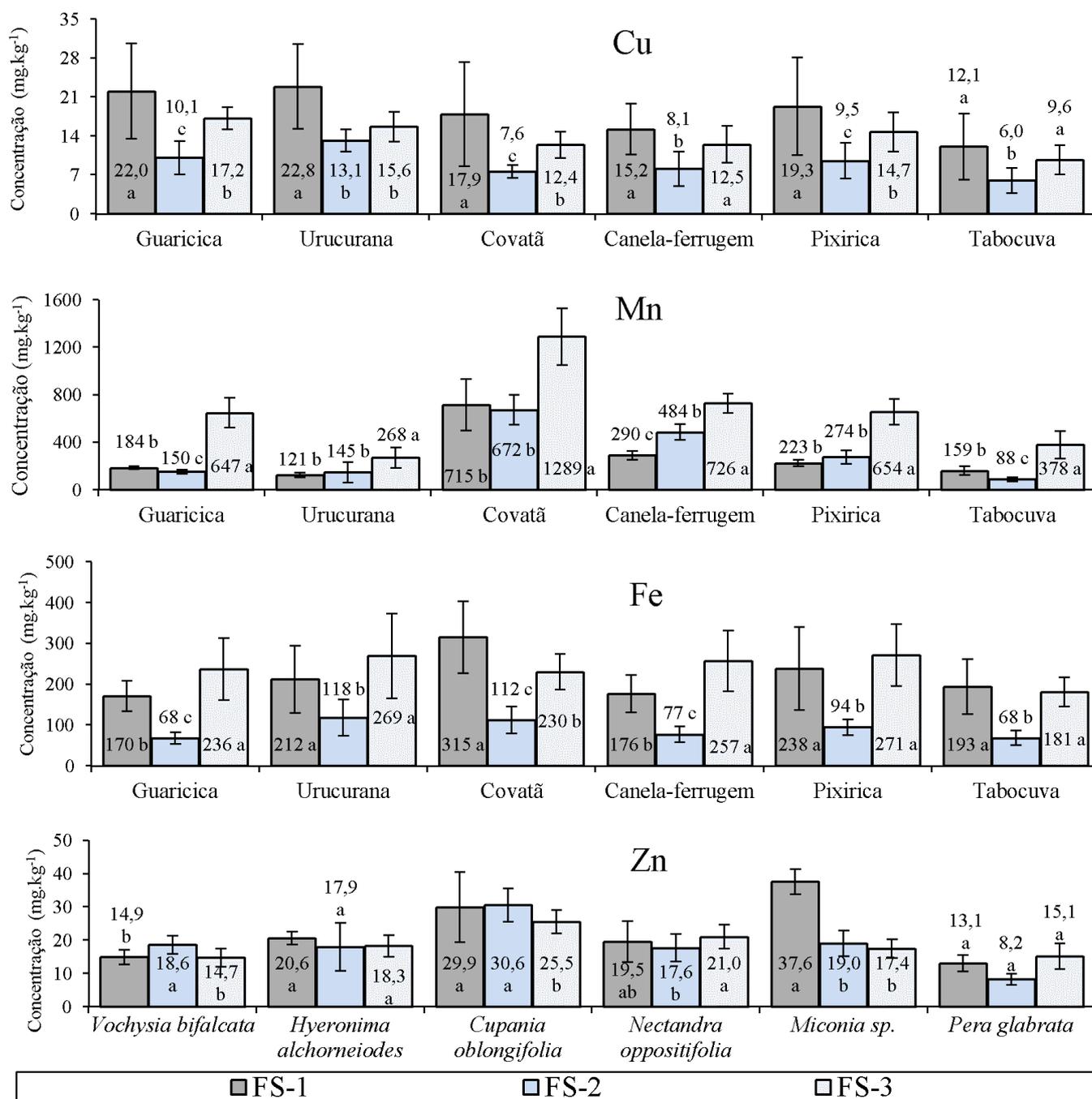


Figura 3. Teor de micronutrientes nas folhas da serapilheira de algumas espécies com o avanço da sucessão secundária em Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Figure 3. Content of micronutrients in leaf litter of some species along a secondary succession in Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR. Means with the same letter do not differ by Tukey test at 5% probability.

do elemento na planta é afetada, por vários fatores, como o elevado conteúdo de P e Mn, bem como deficiência de K e baixa intensidade luminosa (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

A ordem de aporte de micronutrientes Mn>Fe>Zn>Cu foi verificada em outros estudos realizados em Floresta Atlântica (SILVA, 1984; PINTO; MARQUES, 2003; BOEGER et al., 2005; DICKOW, 2010; WOICIECHOWSKI, 2015), em florestas estacionais (MARAFIGA et al., 2012) e em plantio de *Pinus sp.* (SCHUMACHER et al., 2008; VIERA; SCHUMACHER, 2010).

Em geral, o aumento no aporte dos micronutrientes foi proporcional à quantidade de serapilheira depositada, tendo sido menor na FS-1 e maior na FS-3 (Figura 3). O aporte de Fe,

e especialmente de Mn, foi relativamente elevado, sendo que o aporte de Mn na FS-3 foi muito superior aos observados nas outras parcelas de estudo. Os baixos valores de pH favorecem a absorção destes elementos (MALAVOLTA, 1980), o que facilita a absorção pelas plantas. Outros autores também identificaram valores elevados de Mn e Fe na serapilheira florestal (PINTO; MARQUES, 2003; DICKOW, 2010), o que sugere a sua lenta liberação da fitomassa depositada sobre o solo, cuja acumulação, ao longo do tempo, contribui para aumentar os estoques deste elemento no solo florestal. Além disso, Viera; Schumacher (2010) citam que teores elevados de Fe e Mn na serapilheira também podem ser decorrentes das altas concentrações desses elementos no solo.

Tabela 5. Aporte anual de micronutrientes nas frações de serapilheira de florestas secundárias em Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR.

Table 5. Annual input of micronutrients by litter fractions of secondary forests in Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR.

Área	Fração	Aporte (g ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
		Cu	Mn	Fe	Zn
Floresta secundária inicial (FS-1)	Ramos e galhos finos	21,01 ± 3,30	340,65 ± 32,37	135,05 ± 16,76	20,67 ± 2,06
	Órgãos reprodutivos	5,74 ± 1,16	29,46 ± 2,80	51,34 ± 6,44	6,72 ± 0,97
	Miscelânea	17,74 ± 2,37	234,05 ± 26,39	236,29 ± 33,18	23,96 ± 2,80
	Folhas diversas	108,7 ± 12,96	1183,84 ± 106,82	1244,35 ± 169,89	102,74 ± 7,29
	Total	153,19 ± 12,23	1788 ± 124,62	1667,03 ± 146,84	154,09 ± 10,38
Floresta secundária intermediária (FS-2)	Ramos e galhos finos	12,61 ± 1,13	397,03 ± 29,79	79,97 ± 6,11	12,61 ± 1,13
	Órgãos reprodutivos	3,98 ± 0,55	45,39 ± 6,48	21,08 ± 2,33	3,98 ± 0,55
	Miscelânea	12,72 ± 1,66	356,09 ± 43,55	129,84 ± 12,68	12,72 ± 1,66
	Folhas diversas	48,32 ± 5,62	1588,58 ± 208,14	478,96 ± 60,9	66,54 ± 7,40
	Total	77,63 ± 5,16	2387,09 ± 179,78	709,85 ± 53,86	95,85 ± 7,28
Floresta secundária avançada (FS-3)	Ramos e galhos finos	22,24 ± 3,28	1076,16 ± 188,27	490,65 ± 102,55	39,98 ± 6,34
	Órgãos reprodutivos	7,25 ± 0,77	152,74 ± 21,12	88,34 ± 10,65	9,12 ± 1,27
	Miscelânea	22,74 ± 2,16	920,83 ± 124,82	987,27 ± 89,64	35,51 ± 4,62
	Folhas diversas	84,65 ± 7,75	3761,6 ± 386,40	1809,01 ± 154,24	119,54 ± 13,92
	Total	136,88 ± 8,62	5911,33 ± 405,22	3375,27 ± 189,61	204,15 ± 12,84

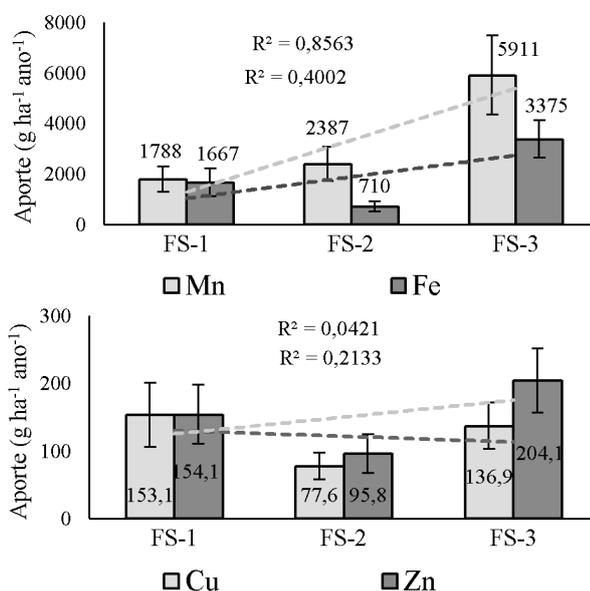


Figura 4. Comparação do aporte anual de micronutrientes na serapilheira de três formações secundárias em Floresta Ombrófila Densa Submontana em Antonina, PR.

Figure 4. Comparison of annual micronutrient input by three secondary formations in Submontane Atlantic Rain Forest in Antonina, PR.

O aporte anual dos micronutrientes em função das frações apresentou a seguinte ordem: folhas > miscelânea > ramos > órgãos reprodutivos. A fração folhas, em virtude da predominância de sua biomassa, contribui em maior escala para a ciclagem de nutrientes (MARAFIGA et al., 2012), o que demonstra a importância dessa fração de serapilheira na ciclagem de nutrientes. Em Floresta Atlântica, Dickow (2010) obteve resultados um pouco diferentes, com a fração ramos aportando mais nutrientes que a miscelânea. No entanto, Calvi et al. (2009) encontraram a sequência de aporte de nutrientes: folhas > ramos > órgãos reprodutivos > miscelânea, sendo que o maior aporte de nutrientes pela fração ramos se deu principalmente pela maior deposição deste material em relação aos órgãos reprodutivos e miscelânea.

As maiores quantidades de nutrientes foram depositadas nas estações chuvosas (primavera e verão), o que está relacionado com a quantidade de serapilheira depositada nessas estações.

Esse padrão de deposição de nutrientes também foi verificado em outros estudos envolvendo sucessão secundária de Floresta Atlântica (BARBOSA; FARIA, 2006; CALVI et al., 2009). No entanto, Dickow (2010) não encontrou influência estacional no aporte de nutrientes em seus estudos.

5. CONCLUSÕES

O teor de micronutrientes nas frações de serapilheira apresentou valores relativamente altos principalmente de Mn e Fe, sendo ramos e folhas as frações com as maiores concentrações na maior parte dos micronutrientes estudados.

A variação estacional não teve influência na concentração de micronutrientes nas frações da serapilheira sobre as florestas secundárias.

O aporte de micronutrientes variou conforme a deposição da serapilheira, quanto a variação estacional e o fator fração da serapilheira.

O teor de Mn apresenta um aumento na serapilheira conforme o avanço sucessional da floresta secundária.

6. REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. H. C.; FARIA, S. M. Aporte de serrapilheira ao solo em estágio sucessional florestais na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 3, p. 461-476, 2006.

BIANCHIN, J. E.; MARQUES, R.; BRITZ, R. M.; CAPRETZ, R. L. Deposição de fitomassa em formações secundárias na Floresta Atlântica do Paraná. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 4, p. 524-533, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.134015>

BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estágios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v.19, n.1, p.167-181, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000100017>

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

- CALVI, G. P.; PEREIRA, M. G.; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de Floresta Atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 131-138, 2009. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098404>
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. 2006. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. 432 p.
- DICKOW, K. M. C. 2010. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Curitiba: UFPR. 215 f.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 3 ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.
- GIÁCOMO, R. **Fitossociologia, aporte de serapilheira, estoques de carbono e nitrogênio em diferentes formações vegetais na Estação Ecológica de Pirapitinga - MG**. 2009. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271p.
- IPARDES. **Zoneamento da Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba**. Curitiba: IPARDES, 2001. 150 p.
- LEITE, F. P.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; VILLANI, E. M. A. Nutrient relations during an eucalyptus cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 949-959, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300029>
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MARAFIJA, J. S.; VIERA, M.; SZYMCAK, D. A.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Deposição de nutrientes pela serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 6, p. 765-771, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000600005>
- MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v8i1.8336>
- MOTTA, A. C. V.; MONTE SERRAT, B.; REISSMANN, C. B.; DIONÍSIO, J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: Edição do autor, 2007. 246p.
- NEVES, E. J. M.; MARTINS, E. G.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 43, p. 47-60, 2001.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.
- PINTO, C. B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 257-264, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v33i3.2256>
- RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S.; GALVÃO, F.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 24, p. 75-92, 2002.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M.; WITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 471-480, 2008.
- SILVA, M. F. F. Produção anual de serapilheira e seu conteúdo mineralógico em mata tropical de terra firme, Tucuruí-PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 1, n. 1/2, p. 111-158, 1984.
- TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16, 2002.
- TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos em Ecologia**. 2.ed. Porto Alegre: Editora ARTMED, 2006. 592p.
- VIERA, M.; CALDATO, S. L.; ROSA, S. F.; KANIESKI, M. R.; ARALDI, D. B.; SANTOS, S. R.; SCHUMACHER, M. V. Nutrientes na serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 611-619, 2010.
- VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e pluviosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 85-94, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000100010>
- WOICIECHOWSKI, T. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes na Floresta Ombrófila Densa Submontana no litoral do Paraná**. Curitiba, 133 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.