

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM AGRONOMIA**

NEURI CARNEIRO MACHADO

**PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA, APORTES DE NUTRIENTES E ATRIBUTOS DE
FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE ERVA-MATE**

**PONTA GROSSA
2014**

NEURI CARNEIRO MACHADO

PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA, APORTES DE NUTRIENTES E ATRIBUTOS DE FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE ERVA-MATE

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Agricultura. Ênfase em Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Co-orientador: Dr. Francisco Paulo Chaimsohn

**PONTA GROSSA
2014**

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Machado, Neuri Carneiro
M149 Produção de serapilheira, aportes de nutrientes e atributos de fertilidade do solo em sistemas agroflorestais de erva-mate/ Neuri Carneiro Machado. Ponta Grossa, 2014.
51f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca.

Coorientador: Prof. Dr. Francisco Paulo Chaimsohn.

1. Ilex paraguariesis St. Hill.. 2. Solos com carga variável. 3. Análise multivariada. I. Fonseca, Adriel Ferreira da. II. Chaimsohn, Francisco Paulo. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Agronomia. IV. T.

CDD: 633.77



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Produção de serapilheira, aportes de nutrientes e atributos de fertilidade do solo em sistemas agroflorestais de erva-mate”.**


Nome: Neuri Carneiro Machado

Orientador: Adriel Ferreira da Fonseca


Aprovado pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca



Pesquisadora Dr^a Maria Izabel Radomski



Prof^a. Dr^a. Celina Wisniewski

Data da Realização: 29 de agosto de 2014.

DEDICO

À minha família, pelo irrestrito apoio em
minha caminhada até aqui.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Agronômico do Paraná, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e ao Ministério de Desenvolvimento Agrário, pela oportunidade e pelo apoio financeiro, possibilitando a realização deste trabalho.

Aos produtores de erva-mate da região centro-sul, pela colaboração no levantamento dos dados.

Aos professores e colegas da Pós-Graduação que, de forma direta ou indireta, colaboraram para que este trabalho fosse realizado.

Aos colegas do Instituto Agronômico do Paraná, pelo apoio e parceria na realização deste trabalho.

Ao amigo Ednilson Pereira Gomes, grande incentivador, presença efetiva durante todo o trabalho, não medindo esforços para a realização de todas as atividades.

Ao amigo Francisco Paulo Chaimsohn, co-orientador deste trabalho, pela confiança e liberdade concedida durante o trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Adriel Ferreira da Fonseca, que contribuiu grandemente com seu conhecimento, dispensando atenção especial à escrita deste trabalho.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, que me permitiram de forma gratuita o aprimoramento profissional.

Aos integrantes da equipe do Laboratório de Nutrição de Plantas, em especial a Verônica Dias Carneiro, pela grande contribuição nas análises laboratoriais.

Aos meus pais Ari e Anita que, com grande esforço, deram-me oportunidades muito além das que tiveram.

Aos meus irmãos, Neudo, Nilton (in memorian) e Geovana e a toda a minha família, pelo carinho e apoio.

Aos meus amados Gisele e Murilo, que estiveram presentes em todos os momentos deste trabalho, dando sentido, motivação e amor a cada passo meu neste período.

A Deus, por me guiar até aqui.

MACHADO, Neuri Carneiro. **Produção de serapilheira, aportes de nutrientes e atributos de fertilidade do solo em sistemas agroflorestais de erva-mate.** 2014. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

RESUMO

A exploração de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), provoca a exportação de quantidades consideráveis de nutrientes, uma vez que há retirada periódica das folhas e ramos finos para comercialização. A adoção de sistemas agroflorestais (SAF's) para a produção de erva-mate contribui para a manutenção da qualidade do solo, graças ao intenso aporte de serapilheira. Este trabalho teve como objetivo quantificar o aporte de serapilheira e nutrientes oriundas dela, e os principais atributos de fertilidade do solo em SAF's de erva-mate, discriminar quais atributos de solo e nutrientes aportados via serapilheira, permitem diferenciar os SAF's de erva-mate, e buscar relações entre atributos químicos do solo e nutrientes aportados. Foram estudados seis SAF's de produção de erva-mate em três diferentes tipos de solo, nos municípios de São Mateus do Sul, Bituruna e Cruz Machado, na região Centro-Sul do Estado do Paraná. A análise canônica discriminante (ACD) foi aplicada às variáveis atributos de solo, pH, H+Al, Al, Ca, Mg, K, CT, P, S, Mn, Cu e Zn, para as camadas de solo de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm; e para as variáveis aporte anual de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn. O estudo da relação entre o aporte de nutrientes via deposição da serapilheira, e os teores destes nutrientes no solo foi realizado mediante análise de correlação canônica (ACC). O aporte de serapilheira variou de 7132 a 9402 kg ha⁻¹ ano⁻¹, e demonstrou-se importante fonte de nutrientes, destacando-se o aporte N, Ca e K, e Mn. A ACD apontou teores de Cu e Al no solo como as variáveis responsáveis pela discriminação dos SAF's. Existe estreita relação entre o aporte de Ca, Mg, Cu, Mn e Zn e os teores destes elementos nos solos sob SAF's de erva-mate.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis* St. Hill., solos com carga variável, análise multivariada.

MACHADO, Neuri Carneiro. **Litterfall production, deposition of nutrients and attributes of soil fertility in agroforestry systems of erva-mate.** 2014. Master Science in Agronomy Dissertation – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

ABSTRACT

The exploration of erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), causes the export of considerable amounts of nutrients, once there are periodic removal of leaves and small branches for commercialization. The adoption of agroforestry systems (AFS's) for the production of erva-mate assists in maintaining soil quality, due to the intense supply of litterfall. This study aimed to quantify the deposition of litterfall and nutrients coming from it, and the main attributes of soil fertility in AFS's erva-mate, it discriminating which soil attributes and nutrients via litter deposition allow to differentiate the AFS's erva-mate, and seeking relationships between soil chemical attributes and nutrients deposited. They were studied six AFS's production of erva-mate in three different soil types, in the municipalities of São Mateus do Sul, Bituruna and Cruz Machado, in the South Central region of the State of Paraná. The canonical discriminant analysis (CDA) was applied to variables: soil attributes (pH, H+Al, Al, Ca, Mg, K, CT, P, S, Mn, Cu e Zn), for soil layers 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm; and variables annual deposition of the N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn. The study of the relationship between the supply of nutrients via litter deposition, and the levels of these nutrients in the soil were performed by canonical correlation analysis (CCA). The deposition of litterfall ranged from 7132 to 9402 kg ha⁻¹ yr⁻¹, and it was demonstrated an important source of nutrients, especially the deposition of N, K, Ca, and Mn. The CDA has pointed the contents of Cu and Al in the soil as responsible for discrimination of the sites. There is a close relationship between the deposition of Ca, Mg, Cu, Zn and Mn and the contents of these elements in the soils under AFS's erva-mate.

Keywords: *Ilex paraguariensis* St. Hill, soils with variable charge, multivariate analysis.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de localização.....	14
Figura 2. Aporte anual de serapilheira de folhas (Fol), galhos (Gal), miscelânea (Misc), extrato herbáceo/arbustivo (H/A) e total, e seus respectivos desvios, para seis SAF's de erva-mate no Centro-sul do Paraná.....	22
Figura 3. Aporte mensal de serapilheira de folhas (◊◊◊), galhos (◻◻◻), miscelânea (▲▲▲), e total (×××), para seis SAF's de erva- mate no Centro-sul do Paraná.....	23
Figura 4. Média dos coeficientes canônicos da primeira função discriminante canônica (FCD1) contra os coeficientes da segunda função discriminante canônica (FCD2), referentes aos aportes e os teores de minerais no solo nas camadas de 0-5 (A), 5-10 (B), 10-20 (C) e 20-40 cm (D), para seis sistemas agroflorestais (SAF) de erva-mate.....	34

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Localização dos seis SAF's de produção de erva-mate estudados.....	15
Tabela 2. Origem do solo, classe de solo e teores de argila em porcentagem, para os seis SAF's de produção de erva-mate estudados.....	15
Tabela 3. Índices fitossociológicos, densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR), frequência (Fr), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), valor de cobertura (VC) e valor de importância (VI), das espécies com maior representatividade no estrato arbóreo, em cada um dos seis SAF's de erva-mate estudados.....	16
Tabela 4. Valores mínimos, máximos e médios de aportes anuais de nutrientes em seis sistemas agroflorestais (SAF) de erva-mate no Centro-Sul do Estado do Paraná.....	26
Tabela 5. Valores mínimos (Min), máximos (Max) e médios (Med) de atributos de fertilidade do solo, em seis sistemas agroflorestais (SAF) de erva-mate no Centro-Sul do Estado do Paraná.....	28
Tabela 6. Média dos coeficientes canônicos padronizados, para a primeira (FCD1) e segunda funções canônicas discriminantes (FCD2), dos seis SAF's de produção de erva-mate, em quatro camadas de solo.....	33
Tabela 7. Coeficientes canônicos padronizados (CCP), coeficiente de correção canônica (r), e taxa de discriminação paralela (TDP) na primeira (FCD1) e segunda função canônicas discriminante (FCD2) nas quatro camadas, referentes as quantidade de nutrientes aportados (ap) e atributos de solo.....	36
Tabela 8. Coeficientes canônicos padronizados (CCP) e correlações (CC) entre as variáveis canônicas e as variáveis de nutrientes aportados e de atributos de fertilidade do solo em diferentes camadas (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm).....	39

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.1. Amostragem e análise de material vegetal.....	17
2.2. Amostragem e análise de solo.....	18
2.3. Análise estatística.....	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1. Produção de serapilheira.....	21
3.2. Aportes de nutrientes.....	24
3.3. Atributos de fertilidade do solo.....	27
3.4. Discriminação dos SAF's de erva-mate.....	32
3.5. Correlação canônica.....	37
4. CONCLUSÕES	43
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

Um sistema agroflorestal (SAF) é caracterizado como um sistema de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes (BRASIL, 2010). Tratando-se de um sistema de produção com o maior potencial de minimizar os impactos da agricultura nos mais importantes biomas brasileiros (KHATOUNIAN, 2001).

Os sistemas tradicionais de produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) no Sul do Brasil são tipicamente SAF's e têm relevante importância histórica, social e econômica. (MAZUCHOSWSKI e RUCKER, 1996; DE SOUZA e CHAIMSOHN, 2013). No Estado Paraná, a área de cultivo de erva-mate é de aproximadamente 37 mil hectares (IBGE, 2012), com produção anual de 337 mil toneladas (DERAL, 2014).

As características atuais dos sistemas tradicionais de produção de erva-mate remetem às práticas adotadas na exploração de erva-mate associadas ao processo de exploração madeireira e agrícola ocorridos no passado. Composto estes sistemas encontram-se espécies vegetais nativas no extrato arbóreo e herbáceo-arbustivo, que são manejadas de forma a favorecer a produção de erva-mate presente no sub-bosque (CHAIMSOHN e DE SOUZA, 2013).

A sustentabilidade dos SAF's de produção de erva-mate é determinado, principalmente, pelos seguintes fatores: (i) deposição constante de material vegetal e cobertura do solo (SANTOS, 2009); (ii) redução na incidência de pragas (BORGES

et al., 2003), e (iii) microclima adequado ao desenvolvimento da erva-mate (VIEIRA, et al., 2003).

Os SAF's podem contribuir para eficiência de uso da água (ANDERSON et al., 2009) e conservação da fauna e da flora (SHIBU, 2009), além de otimizar a taxa de incremento de carbono (STEENBOCK et al., 2013). Mais especificamente, os SAF's com erva-mate, quando adequadamente manejados, beneficiam o solo, pois proporcionam melhoria de seus atributos físicos, como exemplo, diminuição da densidade, e aumento dos teores de matéria orgânica (SANTOS, 2009) e da ciclagem de nutrientes (ILANI, et al., 2010).

Entretanto, a colheita de erva-mate provoca a exportação de quantidades consideráveis de nutrientes (REISSMANN et al., 1985) e, normalmente, não se efetua reposição externa dos mesmos, via fertilização química e/ou orgânica.

Há relativamente pouca informação publicada a respeito das quantidades de matéria seca e nutrientes exportados pela colheita de erva-mate. Entretanto, alguns trabalhos relatam que, para cada tonelada de massa seca retirada, exporta-se, aproximadamente de 15 a 29 kg de N (REISSMANN et al., 1983; REISSMANN & PREVEDELLO, 1992), 0,5 a 2,8 kg de P (RADOMSKI et al., 1992; REISSMANN & PREVEDELLO, 1992), 8 a 18,6 kg de K (FOSSATI, 1997; REISSMANN et al., 1985), 5,5 a 10,9 kg de Ca (SANTOS, 2009; FOSSATI, 1997), 2,7 a 9,7 kg de Mg (REISSMANN et al., 1985; FOSSATI, 1997); 0,5 a 2,0 kg de Mn, 7,6 a 32,4 g de Cu e 32 a 63 g de Zn, (RADOMSKI et al., 1992). As variações encontradas nas quantidades de nutrientes exportados são, normalmente, determinadas pela época de colheita (RIBEIRO, et al., 2008), tipo de poda (SOUZA et al, 2008), características específicas de sítio (FOSSATI, 1997), idade das folhas coletadas (RADOMSKI, et al., 1992), e a dioícia (MAZUCHOWSKI, 1989; FOSSATI, 1997).

Esta constante e sistemática retirada de biomassa contribui para incrementar o desequilíbrio nutricional neste sistema (POGGIANI, 1985), uma vez que a quantidade de nutrientes que sai do sistema devido à colheita, deve ser similar à quantidade de nutrientes que entra no sistema, necessária ao crescimento das plantas (POGGIANI e SCHUMACHER, 2000).

A serapilheira acumulada é a principal via de transferência de minerais para o solo, importante no processo de ciclagem biogeoquímica de nutrientes (CALDEIRA, 2003). O acúmulo de serapilheira e a quantidade de minerais que chegam ao solo, variam em função de diversos fatores, principalmente, das espécies que contribuem para a deposição do material vegetal, das condições edafoclimáticas e distúrbios naturais (CALDEIRA, 2007).

Outra questão importante para o entendimento do funcionamento e dinâmica do sistema solo-planta na produção de erva-mate se refere a baixa eficácia dos procedimentos estatísticos univariados na explicação dos fenômenos observados. Isso se deve ao fato de que nenhuma variável consegue individualmente caracterizar de maneira adequada a unidade experimental, havendo a necessidade de compreensão das relações entre as diversas variáveis (SARTORIO, 2008).

Nesse contexto pode ser interessante a utilização de métodos estatísticos multivariados, como por exemplo, análise de discriminantes canônicos (ACD) e análise de correlação canônica (ACC). Tais métodos, podem contribuir para uma análise mais refinada (BARETTA et al., 2008), permitindo um estudo global das variáveis, colocando em evidência as ligações, semelhanças ou diferenças entre elas, perdendo o mínimo de informações (SARTORIO, 2008), favorecendo e melhorando a compreensão da ciclagem de nutrientes e qualidade de solos em SAF's de erva-mate.

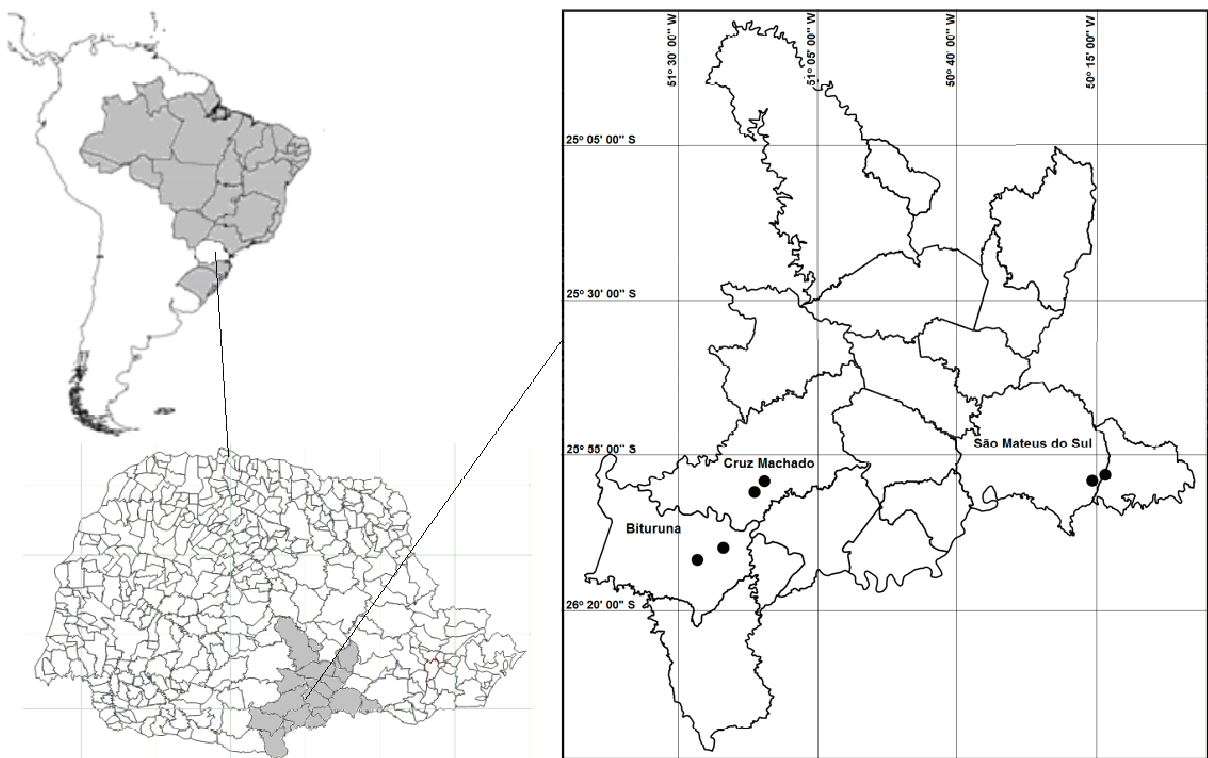
Neste trabalho foram testadas as seguintes hipóteses: (a) os atributos de solo e aporte de nutrientes que permitem a diferenciação dos SAF's de erva-mate são os mesmos, independentemente do tipo de solo no Centro-Sul do Estado do Paraná; (b) a manutenção da fertilidade dos solos sob SAF's de erva-mate é governada pelo aporte de nutrientes via deposição da serapilheira.

Portanto, os objetivos deste trabalho foram: (i) quantificar o aporte de nutrientes oriundo da serapilheira e os principais atributos de fertilidade de camadas de solos em seis SAF's de erva-mate no Centro-Sul do Estado do Paraná; (ii) discriminar quais atributos de solo e nutrientes, aportados via serapilheira, permitem diferenciar os SAF's de erva-mate; (iii) buscar relações entre atributos químicos do solo e nutrientes aportados, com o intuito de melhor compreender a fertilidade de solos sob SAF's de erva-mate nesta região.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos municípios de São Mateus do Sul, Bituruna e Cruz Machado, região Centro-sul do Estado do Paraná. O clima desta região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb – Subtropical, super-úmido, sem estação seca, com precipitação média anual variando entre 1.600 a 1.700 mm, mesotérmico brando com temperaturas médias anuais entre 15 e 18°C, com verões frescos e invernos com ocorrências de geadas severas e freqüentes (IAPAR, 1994). Originalmente, grande parte das áreas desses municípios era coberta pela Floresta Ombrófila Mista (Mata com Araucárias), com poucas manchas de campos (CASTELLA E BRITTEZ, 2004).

Figura 1. Mapa de Localização



Os SAF's, nos quais foi efetuado o estudo, se caracterizam pela presença de plantas de erva-mate nativas ou plantadas no interior de fragmentos da Floresta Ombrófila Mista, manejada a fim de favorecer o desenvolvimento da erva-mate, a realização de roçadas anuais no sub-bosque destes fragmentos e a poda de galhos das árvores, são práticas recorrentes, e tem a finalidade de controlar a competição com as plantas de erva-mate, e permitir a entrada de luz no interior do fragmento.

Foram demarcadas parcelas de 2.500 m² (50 x 50 m) uma em cada um dos seis SAF's de produção de erva-mate, a fim de caracterizar estes sistemas de produção, em seus aspectos físicos e biológicos, Apresenta-se, neste trabalho parte destes estudos realizados.

Apresenta-se nas Tabelas 1, 2 e 3 Informações sobre a localização, solos e vegetação das áreas estudadas.

Tabela 1. Localização dos seis SAF's de produção de erva-mate estudados.

SAF	Coordenadas geográficas	Altitude	Município
1	25° 58' 15,4" S / 50° 13' 45,8" O	851 m	São Mateus do Sul
2	25° 59' 12,4" S / 50° 16' 04,4" O	800 m	São Mateus do Sul
3	26° 12' 04,5" S / 51° 26' 30,0" O	1021 m	Bituruna
4	26° 10' 08,5" S / 51° 21' 51,3" O	920 m	Bituruna
5	26° 01' 10,4" S / 51° 16' 18,0" O	949 m	Cruz Machado
6	25° 59' 23,1" S / 51° 14' 30,1" O	1051 m	Cruz Machado

Tabela 2. Origem do solo, classe de solo e teores de argila em porcentagem, para os seis SAF's de produção de erva-mate estudados.

SAF	Origem do solo	Tipo de solo	Argila (%)
1	Diques de basalto	CAMBISSOLO HAPLICO Ta Alumínico léptico	52
2	Sedimentar	LATOSSOLO BRUNO Alumínico típico	53
3	Basalto	CAMBISSOLO HAPLICO Alumínico petroplintico	60
4	Basalto	CAMBISSOLO HÚMICO Tb Alumínico léptico	54
5	Basalto	ARGILOSSOLO BRUNO-ACINZENTADO distrófico	60
6	Basalto	CAMBISSOLO HAPLICO Ta Alumínico léptico	65

Tabela 3. Índices fitossociológicos, densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR), frequência (Fr), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), valor de cobertura (VC) e valor de importância (VI), das espécies com maior representatividade no estrato arbóreo, em cada um dos seis SAF's de erva-mate estudados.

SAF	Espécie	DA	DR	Fr	DoA	DoR	VC (%)	VI (%)
1	<i>Mosiera prismatica</i>	404	47,4	100	3,8	17,0	32,2	23,8
	<i>Myrsine coriacea</i>	88	10,3	100	1,7	7,5	8,9	8,2
	<i>Ocotea porosa</i>	24	2,8	75	2,4	10,9	6,9	6,3
	<i>Myrcia rostrata</i>	52	6,1	100	1,1	5,1	5,6	6,0
	<i>Ocotea puberula</i>	32	3,8	75	1,7	7,6	5,7	5,5
	Total	852	100	-	22,4	100	100	100
2	<i>Ocotea porosa</i>	60	21,4	100	6,8	37,1	29,2	23,0
	<i>Araucaria angustifolia</i>	28	10,0	100	2,4	13,1	11,5	11,2
	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	28	10,0	100	2,2	11,9	10,9	10,8
	<i>Casearia decandra</i>	32	11,4	75	0,5	2,9	7,2	7,4
	<i>Lithraea brasiliensis</i>	16	5,7	100	0,7	3,7	4,7	6,6
	<i>Ilex theezanss</i>	24	8,6	75	0,5	3,0	5,8	6,5
Total	280	100	-	18,4	100	100	100	
3	<i>Piptocarpha angustifolia</i>	164	21,6	100	4,3	21,8	21,7	17,2
	<i>Vernonia discolor</i>	144	19,0	75	4,6	23,8	21,4	16,3
	<i>Ocotea puberula</i>	148	19,5	100	1,1	5,8	12,6	11,2
	<i>Mimosa scabrella</i>	76	10,0	100	1,2	6,3	8,2	8,2
	<i>Solanum granuloso-leprosum</i>	52	6,8	75	0,8	4,1	5,5	5,7
	Total	760	100	-	19,5	100	100	100
4	<i>Vernonia discolor</i>	132	24,4	100	3,7	30,4	27,4	21,3
	<i>Piptocarpha angustifolia</i>	124	23,0	100	1,9	15,7	19,3	15,9
	<i>Araucaria angustifolia</i>	72	13,3	100	1,5	12,3	12,8	11,6
	<i>Ocotea porosa</i>	12	2,2	75	1,6	13,1	7,7	7,4
	<i>Sapium glandulatum</i>	56	10,4	75	0,5	3,9	7,1	7,0
	Total	540	100	-	12,3	100	100	100
5	<i>Ocotea porosa</i>	196	62,8	100	15,5	54,9	58,9	46,6
	<i>Araucaria angustifolia</i>	44	14,1	100	5,7	20,1	17,1	18,8
	<i>Vernonia discolor</i>	32	10,3	100	3,4	12,0	11,1	14,8
	<i>Ocotea puberula</i>	28	9,0	75	3,1	10,9	9,9	12,2
	Total	312	100	-	28,3	100	100	100
6	<i>Clethra scabra</i>	196	21,8	100	6,4	22,9	22,3	16,9
	<i>Piptocarpha angustifolia</i>	80	8,9	100	5,5	19,5	14,2	11,4
	<i>Ocotea puberula</i>	76	8,4	100	3,1	10,9	9,7	8,5
	<i>Ocotea porosa</i>	104	11,6	100	2,0	7,3	9,4	8,3
	<i>Vernonia discolor</i>	68	7,6	100	2,5	8,7	8,2	7,4
	<i>Araucaria angustifolia</i>	68	7,6	100	2,2	8,0	7,8	7,2
	Total	900	100	-	28,1	100	100	100

2.1 Amostragens e análise de material vegetal

Para a coleta da serapilheira depositada pelo estrato arbóreo foram utilizados coletores com área de 0,5 m², confeccionados com vergalhão de ferro, na forma circular, medindo 80 cm de diâmetro, com fundo em tela de nylon, malha de 1 mm, formando um saco de 50 cm de profundidade, suspensos aproximadamente a 1,0 m do chão, fixados a estacas de madeira. Os coletores foram dispostos sistematicamente em cada SAF, equidistantes 10 m da borda da parcela e 10 m entre cada coletor, totalizando 16 coletores por SAF (parcela de 2500 m²).

Aos 30 dias após a instalação dos coletores (outubro/2011), iniciou-se a coleta do material interceptado. As demais coletas foram realizadas com intervalos de 30 dias (SOUZA & DAVIDE, 2001; ARATO et al., 2003; FERREIRA et al., 2007), perfazendo um total de 12 amostragens durante o período de estudo.

A vegetação que compõe o estrato herbáceo/arbustivo foi estimada através da coleta com moldura quadrada de 0,5 x 0,5 m (GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002). Realizaram-se coletas do estrato herbáceo/arbustivo, apenas uma vez no ano, entre os meses de maio e junho de 2012, conforme a época em que cada produtor de erva-mate realizava o manejo da roçada. Nesse caso, foi simulado o depósito de material vegetal sobre o solo, e coletadas amostras compostas (n = 3) do material vegetal depositado no entorno de cada coletor.

As amostras da serapilheira e biomassa foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório para procedimentos de lavagem, secagem, moagem e determinações analíticas, empregando-se os métodos sugeridos por Malavolta et al., (1997). As amostras foram lavadas em água deionizada, secas em estufa a 65°C com circulação forçada de ar até atingir massa constante, moídas em

moinho tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm e armazenadas em recipientes plásticos tampados até a realização das análises químicas.

As concentrações de N foram determinadas mediante digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl. As determinações das concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foram realizadas por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura por espectrometria de absorção molecular (EAM) para P; espectrofotometria de emissão em chama (EEC) para K; espectrometria de absorção atômica com atomização em chama (EAA-chama) para Ca, Mg, Cu, Mn e Zn; e turbidimetria para S.

As análises da serapilheira foram realizadas quadrimestralmente para a fração “folhas”, e anualmente para as frações “galhos” e “miscelânea”, e biomassa do estrato herbáceo/arbustivo.

2.2. Amostragem e análise de solo

A amostragem de solo foi realizada no entorno dos dezesseis coletores de cada um dos sítios estudados. Foram retiradas amostras compostas (n=4) das camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Depois de coletadas, as amostras foram levadas ao laboratório, secas em estufa a 40°C com circulação forçada de ar, moídas, peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm – denominada de terra fina seca em estufa (TFSE). A partir da TFSE foram determinadas a acidez ativa (pH), acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al), as concentrações de Ca, Mg e K trocáveis, de P disponível (Mehlich-1) e carbono total (CT) – Walkley-Black, empregando-se os métodos sugeridos por Pavan et al. (1992). Também foram

determinadas as concentrações de S disponível, conforme Vitti & Suzuki (1978). e de Cu, Mn e Zn disponível em solução de Mehlich-1, conforme Silva (2009)

2.3. Análise Estatística

Foram estimados, para cada coletor, os aportes por hectare de serapilheira para as frações folhas, galhos e miscelânea, estimaram-se também os aportes por hectare de biomassa seca do estrato herbáceo/arbustivo para o entorno de cada coletor. Calculou-se a quantidade aportada de minerais por hectare para cada coletor, somando-se os aportes de minerais gerados pela deposição das frações da serapilheira e da biomassa seca do extrato herbáceo/arbustivo.

Verificou-se a existência de valores inconsistentes (“outliers”) para os aportes de minerais, para as variáveis de atributos de solo, desconsiderando-se os valores apontados como inconsistentes para a análise dos dados. Obtiveram-se os valores médios, máximos e mínimos dos atributos de solo, e do aporte de minerais em cada SAF avaliado.

Verificou-se as pressuposições de homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett) e normalidade dos dados (Testes de Shapiro) para cada variável, seguindo com a transformação dos dados da variável pelo método de Box-Cox, quando não atendidas as pressuposições.

A identificação de diferenças existentes entre os SAF's de erva-mate, e também das variáveis que mais contribuíram para a separação entre as áreas estudadas, foram feitas através de análise canônica discriminante (ACD) para cada camada de solo, submetendo-se as médias dos coeficientes canônicos padronizados ao teste LSD a 5% de significância.

A relação entre os teores de micronutrientes e macronutrientes nas diferentes camadas de solo, e o aporte de minerais gerados pelo depósito de material vegetal ao solo, foi feita através de análise de correlação canônica (ACC).

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software SAS 9.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. *Produção de serapilheira*

O aporte total anual de serapilheira de folhas, galhos, miscelânea, extrato herbáceo/arbustivo e total estão representados na Figura 2. A serapilheira total aportada nos seis SAF's de erva-mate, variou de 7132 a 9402 kg ha⁻¹ ano⁻¹, valores considerados próximos daqueles observados em vegetação similar. Tem sido verificado que, para fragmentos de Floresta Ombrófila Mista (FOM) não manejados, o aporte de serapilheira total varia de 6527 a 8354 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (BRITEZ, et al., 1992; LONGHI, et al., 2011). Em SAF's de erva-mate foram observados valores médios de 7090 kg ha⁻¹ de serapilheira depositada sobre o solo, (SANTOS, 2009). No presente trabalho, a serapilheira de folhas, galhos e miscelânea e extrato herbáceo/arbustivo representaram, em média, 52%, 17%, 8,5% e 22,5%, respectivamente, do total de serapilheira aportada no SAF's de erva-mate. Britez et al. (1992) observaram, para uma área de FOM localizada em São Mateus do Sul/PR, percentuais de serapilheira para folhas, galhos e miscelânea, de 62,2; 22,0 e 7,6, respectivamente.

O aporte mensal de serapilheira de folhas, galhos, miscelânea e total estão representados na Figura 3. Os maiores aportes de serapilheira foram observados durante os meses da primavera, exceto para o SAF 1, no qual os meses referentes ao inverno acumularam maiores aportes deste material. A deposição mensal de folhas foi maior nos meses da primavera em todos os SAF's estudados. Para a deposição de galhos, os maiores aportes foram observados nos meses de outono nos SAF's 1, 2, 4 e 5, com picos de queda de galhos no mês de abril; para os SAF's

Figura 2. Aporte anual de serapilheira de folhas (Fol), galhos (Gal), miscelânea (Misc), extrato herbáceo/arbustivo (H/A) e total, e seus respectivos desvios, para seis SAF's de erva-mate no Centro-sul do Paraná.

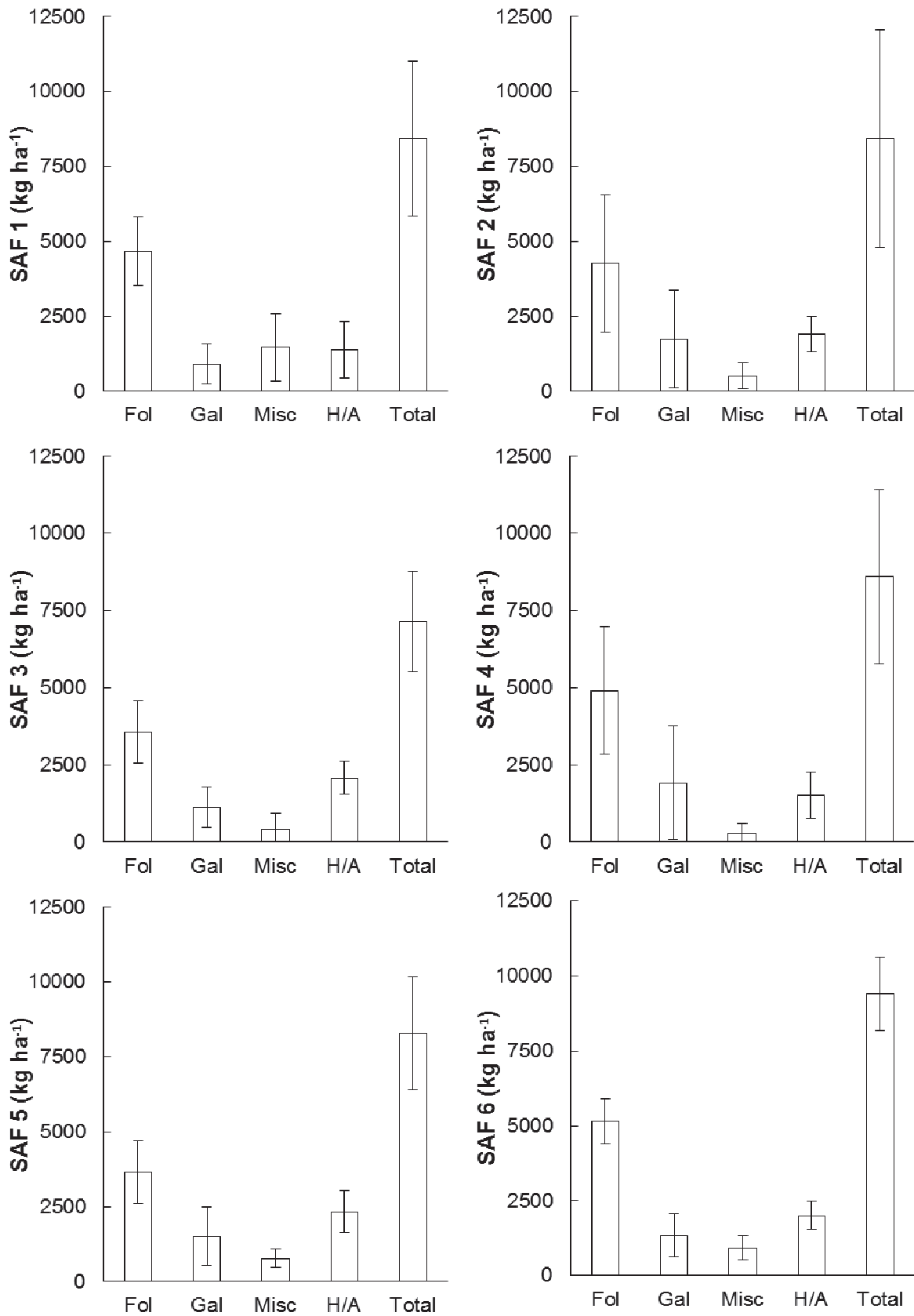
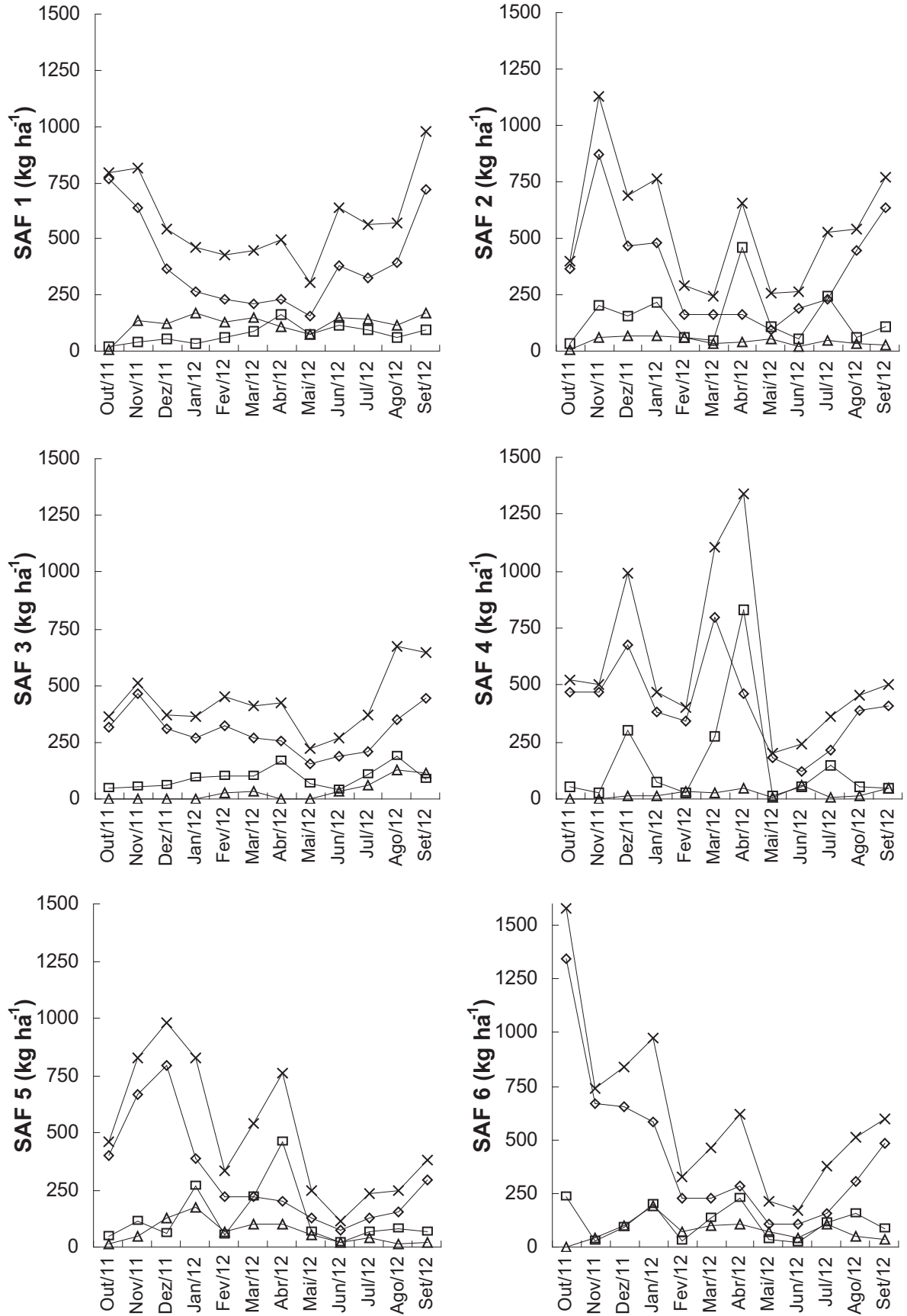


Figura 3. Aporte mensal de serapilheira de folhas ($\diamond\diamond\diamond$), galhos ($\square\square\square$), miscelânea ($\triangle\triangle\triangle$), e total ($\times\times\times$), para seis SAF's de erva-mate no Centro-sul do Paraná.



3 e 6 os maiores aportes de galhos foram observados nos meses de inverno e verão, respectivamente.

Britez et al. (1992), estudando a FOM, verificou que a maior deposição de serapilheira se deu na primavera, com o aumento da precipitação e da temperatura. Figueiredo Filho et al. (2003), também observou maiores aportes de serapilheira na primavera em áreas de FOM, porém com baixa correlação entre as variáveis meteorológicas.

A variação na deposição de serapilheira pode ser atribuída a vários fatores como: composição de espécies, a sere sucessional, características edafo-climáticas, comportamento fenológico, dentre outros (SCHUMACHER et al., 2011; CALDEIRA et al., 2008; PEZZATTO e WISNIEWSKI, 2006; FIGUEIREDO FILHO et al., 2003).

No SAF 3, são observadas as menores variações de deposição de serapilheira ao longo dos meses (Figura 3), justificada pela presença dominante de espécies arbóreas de caracter pioneiro (Tabela 3) (PEZZATTO e WISNIEWSKI, 2006).

3.2. Aportes de nutrientes

A quantidade de nutrientes aportados nos SAF's está relacionada na Tabela 4. O aporte total de N, nos SAF's de erva-mate, variou de 45,0 a 250,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 130,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Com relação ao P, o aporte total variou de 2,9 a 13,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 6,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹. O aporte total de K nos SAF's de erva-mate variou de 17,4 a 85,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 45,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Com relação ao Ca, o aporte total variou de 20,0 a 124,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 50,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹. O aporte total de Mg nos SAF's de erva-mate variou de 7,3 a 23,8 kg

ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 14,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Com relação ao S, o aporte total variou de 9,5 a 12,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 11,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Os aportes anuais de macronutrientes verificados no presente trabalho foram próximos às observações de Britez et al. (1992) e Longhi et al. (2011), em FOM. Esses autores observaram magnitudes de aportes anuais de N, P, K, Ca, Mg, S da ordem de 89,2 a 148,2; 5,32 a 17,53; 31,9 a 46,58; 31,9 a 123,26; 5,7 a 22,16; 9,52 a 12,03 kg ha⁻¹, respectivamente. Todavia, os valores de aportes apresentados em Britez et al. (1992) e Longhi et al. (2011) se referem apenas ao proveniente da serapilheira das árvores.

Os aportes médios de macronutrientes para os SAF's de erva-mate 1, 3 e 5 foram na seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > S > P. Para os SAF's 2, 4 e 6, os aportes médios ocorreram na seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > S > P. Maior e menor aporte de N e P, respectivamente em SAF's de erva-mate, e ligeiras alternâncias quanto aos demais macronutrientes também tem sido reportado por Santos (2009).

O aporte total de Mn, nos SAF's de erva-mate, variou de 1,9 a 18,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 7,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Com relação ao Zn, o aporte total variou de 89,4 a 349,7 g ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 194,2 g ha⁻¹ ano⁻¹. O aporte total de Cu nos SAF's de erva-mate variou de 29,9 a 180,4 g ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 82,9 g ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 4). Quanto aos micronutrientes estudados, os aportes médios ocorreram na seguinte ordem: Mn > Zn > Cu, para todos os SAF's de erva-mate estudados. Salienta-se que são inexistentes publicações que abordam aportes totais de micronutrientes em SAF's com erva-mate.

Caldeira (2006), observou grande variação nos teores de micronutrientes, e também maiores teores de Mn na biomassa de espécies arbóreas da FOM,

atribuindo as variações observadas a diferenciada exigência nutricional das espécies.

Tabela 4. Valores mínimos, máximos e médios de aportes anuais de nutrientes em seis sistemas agroflorestais (SAF) de erva-mate no Centro-Sul do Estado do Paraná.

Valor	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	SAF 5	SAF 6	Médio
<i>Nitrogênio (kg ha⁻¹)</i>							
Mínimo	73,4	45,0	80,8	94,1	82,1	112,1	81,3
Máximo	164,3	241,4	190,4	250,3	149,2	184,9	196,7
Médio	128,6	122,8	124,5	150,1	114,0	141,8	130,3
<i>Fósforo (kg ha⁻¹)</i>							
Mínimo	2,9	3,9	3,0	2,6	3,6	5,3	3,5
Máximo	13,1	9,6	11,4	11,8	9,4	11,3	11,1
Médio	6,8	6,6	5,5	5,8	6,5	8,0	6,5
<i>Potássio (kg ha⁻¹)</i>							
Mínimo	29,6	29,9	30,3	17,4	40,8	29,6	29,6
Máximo	85,7	77,5	51,8	41,9	67,2	61,4	64,2
Médio	58,5	46,3	40,9	28,7	52,1	44,7	45,2
<i>Cálcio (kg ha⁻¹)</i>							
Mínimo	25,0	25,8	20,0	26,3	31,0	42,1	28,4
Máximo	86,9	94,7	50,9	124,7	82,5	68,7	84,7
Médio	44,4	59,9	30,6	62,3	50,7	53,2	50,2
<i>Magnésio (kg ha⁻¹)</i>							
Mínimo	9,1	11,7	7,3	8,7	7,8	11,0	9,3
Máximo	21,5	21,3	16,0	23,8	19,7	22,5	20,8
Médio	15,3	15,7	11,0	16,4	11,7	17,2	14,6
<i>Enxofre (kg ha⁻¹)</i>							
Mínimo	5,4	8,5	6,1	6,2	8,6	11,8	7,8
Máximo	14,9	17,0	11,2	16,1	16,7	18,8	15,8
Médio	10,9	12,6	9,1	11,1	11,8	14,1	11,6
<i>Manganês (kg ha⁻¹)</i>							
Mínimo	1,9	1,8	4,8	5,6	4,2	5,5	4,0
Máximo	12,7	5,0	10,6	15,7	8,9	18,6	11,9
Médio	6,9	3,2	7,7	10,0	5,8	11,6	7,6
<i>Zinco (g ha⁻¹)</i>							
Mínimo	89,4	118,3	124,1	101,9	122,4	183,0	123,2
Máximo	301,0	349,7	275,6	256,3	267,3	342,9	298,8
Médio	169,6	198,6	177,9	152,2	200,6	266,3	194,2
<i>Cobre (g ha⁻¹)</i>							
Mínimo	29,9	30,5	41,0	66,9	39,9	65,6	45,6
Máximo	126,7	101,6	163,0	180,4	77,8	166,4	136,0
Médio	66,1	60,5	93,4	114,2	60,8	102,5	82,9

3.3. Atributos de fertilidade do solo

Todos os solos sob SAF's de erva-mate estudados apresentam elevada acidez e baixa concentração de cátions trocáveis, variando de acordo com a camada e sítio (Tabela 5). Os valores de pH, H+Al e Al trocável variaram de 3,4 a 4,4; 78 a 320 mmol_c dm⁻³; e 0,5 a 113 mmol_c dm⁻³, respectivamente. Os valores de pH tiveram menores variações ao longo do perfil de solo estudado quando comparado às concentrações de H+Al e Al. Os maiores teores e as maiores variações de H+Al são observadas na camada de 0-5 cm, já as concentrações de Al são maiores com o aumento da profundidade.

Em solos típicos de SAF's de erva-mate, Signor (2013) observou, valores de pH, H+Al e Al variando de 3,7 a 4,1; 98 a 171 mmol_c dm⁻³; 16 a 56 mmol_c dm⁻³, para a camada de 0-20 cm.

O teor de bases trocáveis decresceu à medida que a profundidade do solo aumentou, observando-se valores para Ca, Mg e K de 1,0 a 52 mmol_c dm⁻³; 1,0 a 27 mmol_c dm⁻³; e 0,4 a 37,4 mmol_c dm⁻³, respectivamente. São considerados baixos os teores de Ca em todas as camadas de solo nos SAF's estudados, com exceção da camada de solo de 0-5 cm do SAF 2, com teores de Ca considerados médio (Tabela 5) (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC, 2004). Os teores de Mg na camada de solo 0-5 cm são considerados médios para todos os SAF's estudados. Santos (2009), estudando SAF's de erva-mate na mesma região determinou teores médios de Ca, Mg e K, variando de 8,8 a 17,6 mmol_c dm⁻³; 6,4 a 16,3 mmol_c dm⁻³; e 1,5 a 4,2 mmol_c dm⁻³, respectivamente; a quantidade de bases também diminuiu com o aumento da profundidade (Tabela 5).

Tabela 5. Valores mínimos (Min), máximos (Max) e médios (Med) de atributos de fertilidade do solo, em seis sistemas agroflorestais (SAF) de erva-mate no Centro-Sul do Estado do Paraná.

SAF	Camada de 0-5 cm			Camada de 5-10 cm			Camada de 10-20 cm			Camada de 20-40 cm		
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
(continua)												
<i>pH</i>												
1	3,6	3,9	3,8	3,6	3,8	3,7	3,6	3,7	3,6	3,6	3,7	3,6
2	3,9	4,4	4,1	3,8	3,9	3,8	3,8	3,9	3,8	3,8	3,9	3,9
3	3,4	3,6	3,5	3,5	3,7	3,6	3,6	3,8	3,7	3,6	3,7	3,7
4	3,7	4,1	3,9	3,7	4,0	3,8	3,8	4,1	3,9	3,8	4,1	3,9
5	3,6	4,0	3,8	3,6	3,9	3,8	3,7	3,9	3,8	3,6	3,8	3,7
6	3,7	4,0	3,8	3,7	4,0	3,8	3,8	4,0	3,9	3,8	3,9	3,8
<i>H+Al (mmol_c dm⁻³)</i>												
1	152	268	222	177	224	203	190	220	203	204	220	215
2	121	172	154	152	225	189	152	206	189	152	176	164
3	245	320	279	225	293	269	144	293	242	163	245	201
4	78	206	164	158	206	180	132	206	165	84	131	106
5	158	245	212	172	245	217	141	245	202	152	190	167
6	158	245	189	141	225	181	121	188	156	121	141	130
<i>Alumínio (mmol_c dm⁻³)</i>												
1	35,0	70,0	57,0	65,0	87,0	77,0	72,0	90,0	82,0	92,0	113	104
2	7,0	28,0	19,9	29,0	47,0	38,0	34,0	49,0	41,0	44,0	61,0	51,0
3	37,5	62,0	54,5	44,0	66,0	57,0	48,0	63,0	56,0	46,0	64,0	54,0
4	0,5	27,5	18,0	19,0	33,0	27,0	15,0	33,0	27,0	8,0	26,0	19,0
5	21,0	48,5	36,5	34,0	51,0	45,0	39,0	51,0	46,0	38,0	49,0	44,0
6	13,5	34,0	24,5	18,0	35,0	29,0	22,0	34,0	28,0	22,0	31,0	26,0
<i>Cálcio (mmol_c dm⁻³)</i>												
1	9,0	27,0	15,1	2,0	14,0	5,1	2,0	8,0	3,0	2,0	4,0	3,0
2	13,0	42,0	24,6	2,0	12,0	5,8	1,0	6,0	3,0	2,0	8,0	3,0
3	3,0	32,5	7,3	1,0	24,0	3,7	1,0	5,0	2,0	1,0	5,0	2,0
4	5,5	22,0	12,0	1,0	13,5	4,1	1,0	8,0	2,0	1,0	9,0	3,0
5	5,0	26,0	11,2	1,0	13,0	3,2	1,0	4,0	2,0	1,0	3,0	2,0
6	6,5	52,0	15,2	1,5	15,0	4,2	1,0	8,0	2,0	1,0	3,0	2,0
<i>Magnésio (mmol_c dm⁻³)</i>												
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
1	9,0	24,0	16,2	2,0	15,0	6,4	3,0	7,0	4,0	2,0	4,0	3,0
2	12,0	27,0	17,9	2,0	11,0	5,2	1,0	6,0	3,0	1,0	4,0	2,0
3	4,0	11,5	7,2	3,0	8,0	4,7	3,0	6,0	4,0	1,0	4,0	3,0
4	8,0	21,5	14,3	5,0	22,5	8,4	2,0	19,0	6,0	2,0	8,0	4,0
5	5,5	18,5	9,3	2,0	8,0	4,7	2,0	5,0	3,0	1,0	2,0	2,0
6	10,0	18,0	12,9	5,0	11,5	6,1	3,0	5,0	4,0	1,0	5,0	3,0

(continuação)

SAF	Camada de 0-5 cm			Camada de 5-10 cm			Camada de 10-20 cm			Camada de 20-40 cm		
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
<i>Potássio (mmol_c dm⁻³)</i>												
1	2,6	5,7	4,2	1,6	4,7	2,9	1,4	3,8	2,3	1,6	3,0	2,2
2	1,1	4,1	2,3	0,8	2,6	1,5	0,7	1,5	1,0	0,5	0,9	0,6
3	1,8	3,5	2,7	1,3	2,5	2,0	1,0	1,6	1,2	0,5	0,9	0,6
4	2,0	4,2	2,4	1,2	2,8	1,6	0,8	1,6	1,0	0,4	1,1	0,6
5	2,0	4,9	3,1	1,3	3,0	2,0	0,8	1,9	1,2	0,5	1,4	0,8
6	1,6	37,4	11,7	1,0	28,1	6,3	0,5	9,8	3,1	0,4	0,7	0,5
<i>Carbono Orgânico (g dm⁻³)</i>												
1	30,2	52,0	40,4	19,9	30,8	26,1	11,9	30,9	21,8	13,9	23,7	19,6
2	37,3	47,1	43,0	30,8	40,3	34,1	24,3	32,4	28,3	22,1	29,4	25,6
3	40,8	60,3	50,5	28,7	51,8	42,4	28,0	47,6	38,2	24,3	40,5	31,9
4	32,6	53,3	45,4	30,2	45,3	36,8	23,8	36,6	30,0	18,6	30,0	23,0
5	43,3	56,2	52,2	31,3	51,4	40,2	29,7	40,1	34,9	23,5	34,0	28,1
6	37,3	51,7	43,6	26,2	41,3	32,8	24,6	34,2	28,2	18,6	25,9	21,9
<i>Fósforo (mg dm⁻³)</i>												
1	6,0	14,7	10,0	1,9	5,4	4,4	1,9	3,5	2,9	0,5	1,1	0,8
2	1,1	7,3	3,4	0,5	4,4	1,7	0,5	2,4	1,1	0,5	1,1	0,6
3	1,9	7,3	3,7	0,5	3,5	2,3	0,7	2,4	1,8	0,5	1,1	0,7
4	4,1	9,4	6,2	2,1	5,0	3,2	1,1	2,4	1,8	0,5	2,4	0,7
5	1,1	3,0	2,0	0,7	2,1	1,3	0,7	1,9	1,2	0,5	1,1	0,7
6	1,1	3,8	2,4	1,1	7,6	2,1	0,5	2,1	1,2	0,5	2,4	0,9
<i>Enxofre (mg dm⁻³)</i>												
1	0,9	1,2	1,1	0,8	1,5	1,2	0,8	1,4	1,2	0,6	1,3	1,0
2	0,7	1,4	1,1	0,8	1,5	1,2	0,9	1,7	1,3	0,7	1,4	1,0
3	0,3	1,4	0,7	0,3	0,9	0,5	0,3	0,8	0,5	0,2	0,9	0,7
4	0,3	0,8	0,5	0,2	0,6	0,4	0,2	0,7	0,4	0,1	0,9	0,3
5	0,6	1,4	0,8	0,5	1,5	0,8	0,3	1,3	0,7	0,2	0,8	0,5
6	0,7	1,2	1,0	0,6	1,2	1,0	0,8	1,4	1,1	0,4	1,7	1,0
<i>Cobre (mg dm⁻³)</i>												
1	0,3	1,2	0,7	0,3	0,9	0,6	0,3	1,0	0,5	0,2	1,8	0,7
2	1,4	4,0	2,1	1,2	3,2	2,2	1,7	3,2	2,4	1,8	3,9	2,8
3	10,1	20,1	15,2	11,4	21,7	16,7	11,5	22,8	17,5	11,5	23,5	18,2
4	16,2	31,2	24,0	18,5	38,5	26,9	19,7	36,4	28,0	17,5	32,7	25,3
5	11,2	19,7	14,3	11,5	23,5	17,5	14,6	26,0	19,2	12,5	23,2	18,5
6	17,6	26,2	22,7	24,5	29,7	26,7	26,2	32,4	28,9	26,0	31,5	29,4

SAF	(conclusão)											
	Camada de 0-5 cm			Camada de 5-10 cm			Camada de 10-20 cm			Camada de 20-40 cm		
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
<i>Manganês (mg dm⁻³)</i>												
1	117	346	223	46,4	179	101	47,0	152	78	27,4	119	49,0
2	16,0	104	44,0	8,0	41,7	21,1	5,1	51	16,1	3,2	15,4	7,9
3	30,0	337	101	15,6	148	63	9,7	108	50	6,5	119	26,9
4	109	693	304	86	700	225	79,3	492	161	27,4	265	100
5	54	329	124	16,7	110	44,3	10,8	55	28,8	5,0	18,8	9,3
6	372	731	486	181	590	322	146	432	228	64,4	178	112
<i>Zinco (mg dm³)</i>												
1	3,0	10,3	5,4	1,8	11,3	2,9	1,2	7,9	2,6	1,2	15,2	5,8
2	1,5	5,7	3,0	0,8	4,5	2,0	0,8	6,1	1,7	0,6	4,2	1,5
3	1,4	3,7	2,6	1,3	3,5	1,9	1,1	4,0	1,8	1,0	8,7	3,0
4	1,57	8,6	4,0	1,3	8,4	3,1	1,2	3,7	2,0	1,1	7,5	3,7
5	1,81	6,0	3,2	0,7	2,4	1,4	0,6	1,9	1,1	1,0	2,5	1,6
6	1,29	5,2	3,3	1,2	2,5	1,7	0,6	1,5	1,0	1,0	5,3	2,4

As variações observadas para os teores de Ca e Mg nos solos dos diferentes SAF's, estão relacionadas em parte pela composição florística do estrato arbóreo. Espécies como a *Piptocarpha angustifolia* e *Vernonia discolor*, que apresentam baixos teores de Ca em suas folhas, e a *Mimosa scabrella* que apresenta em suas folhas baixos teores Mg (CALDEIRA, 2003), aportam ao solo menores quantidades de Ca e Mg. Observa-se no SAF 3, que estas espécies são dominantes (Tabela 3), e os teores de Ca e Mg no solo são os menores entre os SAF's estudados (Tabela 5).

Os teores de C, P e S, variaram de 11,9 a 60,3 g dm⁻³; 0,5 a 17,7 mg dm⁻³; e 0,1 a 1,4 mg dm⁻³, respectivamente. Determinou-se maiores teores de C e P nas camadas superiores de solo, não sendo observado a variação significativa dos teores de S com o aumento da profundidade (Tabela 5).

Os altos teores de matéria orgânica, encontrados nos SAF's de erva-mate, se devem às práticas de manejo que reduzem a ocorrência de perturbações ao sistema solo/vegetação, e a deposição constante de serapilheira. Signor (2013), encontrou

valores para C de 31,5 a 63,7 g dm⁻³, na camada de 0-20 cm; o mesmo autor encontrou teores de P variando de 1,7 a 8,3 mg dm⁻³, na camada de 0-20 cm. Santos (2009), menciona que os teores de P encontrados em solos sob SAF's de erva-mate, são baixos e muito baixos, variando entre 1,23 a 2,77 mg dm⁻³, com tendência de redução dos teores de P com o aumento da profundidade. Isso se deve aos maiores teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, visto que incorporação da matéria orgânica ao solo, pode aumentar a ciclagem do P, aumentando sua disponibilidade para as plantas (SILVA E MENDONÇA, 2007).

De acordo com a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (2004), os teores de P observados no solo foram considerados baixos para os SAF's 2, 3, 5 e 6, médio para o SAF 4 e alto para o SAF 1 (Tabela 5). Os SAF's 3, 4, 5 e 6, estão sob solos de origem basáltica, os quais possuem maior capacidade de adsorção de P (VALLADARES et al., 2003), também se observou teores muito altos de argila nos solos sob os SAF's 3, 5, 6 (Tabela 2), o que influencia positivamente a adsorção do P (NOVAIS e MELLO, 2007), justificando os baixos teores de P.

Com relação ao teor de micronutrientes, determinado nos solos dos SAF's estudados, observou-se quantidades de Cu, Mn e Zn, variando de 0,2 a 38,5 mg dm⁻³; 3,2 a 731 mg dm⁻³; e 0,6 a 15,2 mg dm⁻³; respectivamente (Tabela 5). Fossati (1997), comparando 10 sítios de ervais plantados, distinguindo-os pela toposequência, observou teores de Cu, Mn e Zn variando de 0,52 a 6,6 mg dm⁻³; 8,0 a 150,0 mg dm⁻³; e 1,42 a 5,96 mg dm⁻³, respectivamente.

3.4. Discriminação dos SAF's de erva-mate

A primeira função canônica discriminante (FCD1) foi a mais importante nas quatro camadas (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm) de solo, pois apresentou correlação canônica de 99%. Os autovalores para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm foram de 67,55, 103,23, 106,17 e 184,11, respectivamente, explicando grande proporção da variabilidade dos atributos estudados. A proporção da variabilidade explicada pela FCD1 nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm foi de 60, 75, 76 e 85%, respectivamente.

Com relação à segunda função discriminante canônica (FCD2), os autovalores foram bem inferiores aos observados na FCD1, exceto para a camada de 0-5 cm. Foram observados autovalores de FCD2 de 29,89, 19,28, 20,0 e 17,19 para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. A proporção da variabilidade explicada pela FCD2 nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm foi de 26, 14, 14 e 8%, respectivamente.

As demais funções canônicas não representaram de forma expressiva a variabilidade dos atributos estudados. Tem sido observado que, nas ocasiões onde os valores dos autovetores da primeira FCD são relativamente maiores, as demais FCD's são pouco relevantes na análise dos dados (MANLY, 2008; CRUZ-CASTILLO et al., 1994). Portanto, ao longo deste trabalho, serão consideradas para a discussão FCD1 e FCD2 para cada camada de solo, pois estas detêm mais 85% da proporção de explicação da variabilidade.

Na camada de 0-5 cm, as médias dos coeficientes canônicos padronizados (CCP's) foram distintas para as FCDs, exceto nos SAF's 4 e 6 para a FCD1 (Tabela 6). Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, as médias dos CCP's diferiram para ambas as

FCDs (Tabela 6). Para a camada de 20-40 cm, as médias dos CCP's foram distintas para as FCDs, exceto nos SAF's 1 e 6 para a FCD 2 (Tabela 6).

Tabela 6. Média dos coeficientes canônicos padronizados, para a primeira (FCD1) e segunda funções canônicas discriminantes (FCD2), dos seis sistemas agroflorestais de erva-mate, em quatro camadas de solo.

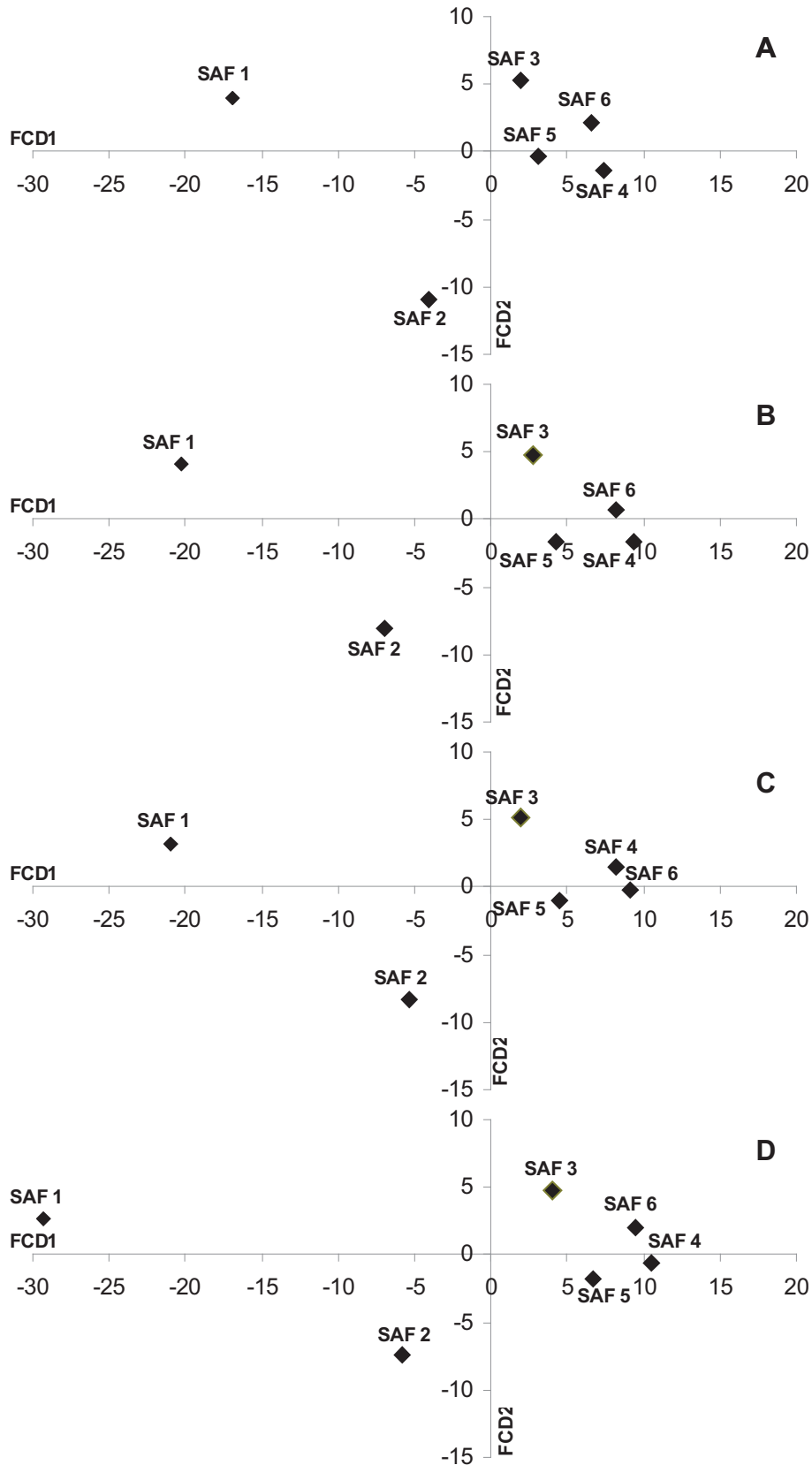
FCD	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	SAF 5	SAF 6
Camada de 0-5 cm						
FCD1	-16,97e	-4,12d	1,93c	7,35a	3,08b	6,58a
FCD2	3,99b	-10,90f	5,27a	-1,36e	-0,30d	2,17c
Camada de 5-10 cm						
FCD1	-20,31f	-6,96e	2,77d	9,32a	4,21c	8,14b
FCD2	4,07b	-8,02f	4,73a	0,23d	-1,65e	0,65c
Camada de 10-20 cm						
FCD1	-20,95f	-5,39e	1,89d	8,14b	4,54c	9,15a
FCD2	3,25b	-8,27f	5,11a	1,45c	-1,02e	-0,20d
Camada de 20-40 cm						
FCD1	-29,30f	-5,79e	4,07d	10,46a	6,68c	9,45b
FCD2	2,69b	-7,46e	4,75a	-0,54c	-1,82d	2,00b

Médias seguidas da mesma letra minúscula, nas linhas, não diferem entre si a 5% pelo teste t.

Houve distinção dos sítios mais fortemente distribuídos no eixo horizontal devido à maior proporção explicativa da FCD1, para todas as camadas de solos estudados (Figura 4). Quando não foi possível visualizar a distinção no eixo horizontal, como no caso dos SAF's 4 e 6 para a camada de 0-5 cm, a diferenciação foi realizada mediante observação do eixo vertical (Figura 4).

A análise de taxa de discriminação paralela (TDP) indicou que os atributos de solo Cu disponível e Al trocável foram os que mais influenciaram na distinção dos SAF's, para ambas FCD's nas quatro camadas estudadas (Tabela 7). As demais variáveis de solo e planta apresentaram valores de TDP muito baixos ou inexpressivos (Tabela 7). A TDP – resultado do produto entre o coeficiente canônico padronizado (CCP) e a correlações entre as variáveis originais e as variáveis canônicas (r) – apresenta valores relativos à contribuição conjunta de r e CCP (BARETTA et al., 2008). Portanto, esse método (TDP) tem sido recomendado para

Figura 4. Média dos coeficientes canônicos da primeira função discriminante canônica (FCD1) contra os coeficientes da segunda função discriminante canônica (FCD2), referentes aos aportes e os teores de minerais no solo nas camadas de 0-5 (A), 5-10 (B), 10-20 (C) e 20-40 cm (D), para seis sistemas agroflorestais (SAF) de erva-mate.



discriminar áreas pela análise discriminante canônica (ADC) (CRUZ-CASTILLO et al., 1994), inclusive, com presença de atributos do solo na análise (MATTIAS et al., 2010).

Para melhor entendimento das relações Cu disponível e Al trocável nos sítios estudados, foram considerados os valores de r , conforme Manly (2008). Nesse caso, ficou evidente que os valores de r dos atributos Cu disponível e Al trocável são inversamente proporcionais (Tabela 7). As variações nas concentrações trocáveis de Al no solo são decorrentes do seu grau de intemperização e valor de pH (KÄMPF et al., 2009; MALAVOLTA et al., 1997). Para cada unidade de pH, a atividade de Al^{3+} em solução é aumentada de 42 a 1000 vezes, dependendo do tipo de mineral com o qual o Al^{3+} está em equilíbrio (LINDSAY, 1979).

No complexo de troca, quando o Al^{3+} é elevado, diminui a adsorção de Cu. Todavia, a disponibilidade para as plantas, quando comparado a dos demais micronutrientes catiônicos, é menos dependente do pH e mais influenciado pelo tipo de solo devido a sua composição mineralógica (ALLEONI et al., 2005; VENDRAME, et al., 2007) e teor de carbono. O teor de carbono tem efeitos diretos na diminuição da disponibilidade Cu (MOUTA et al., 2008; ARAÚJO e AMARAL, 2000), atribuído a formação de complexos de alta energia com os ácidos húmicos (ARIAS et al., 2006), mesmo em solos com pH baixo (4-5) (JORDÃO et al., 2000).

A proximidade das médias dos coeficientes canônicos dos SAF's 3, 4, 5 e 6 (Figura 4), ocorreu devido aos maiores teores de Cu no solo, em relação os teores de Cu observados para os SAF's 1 e 2. Solos desenvolvidos de basalto apresentam, de modo geral, teores de Cu solubilizados maiores que de origem sedimentar (OLIVEIRA E COSTA, 2004).

Tabela 7. Coeficientes canônicos padronizados (CCP), coeficiente de correção canônica (r), e taxa de discriminação paralela (TDP) na primeira (FCD1) e segunda função canônicas discriminante (FCD2) nas quatro camadas, referentes as quantidade de nutrientes aportados (ap) e atributos de solo.

(continua)

Variável	Camada de 0-5 cm			Camada de 5-10 cm			Camada de 10-20 cm			Camada de 20-40 cm		
	CCP	r	TDP	CCP	r	TDP	CCP	r	TDP	CCP	r	TDP
FCD 1												
N ap	-0,02	0,17	0,00	0,23	0,17	0,04	0,06	0,16	0,01	0,76	0,13	0,10
P ap	0,47	0,08	0,04	0,74	0,07	0,05	0,27	0,11	0,03	0,06	0,07	0,00
K ap	-0,53	-0,45	0,24	-0,08	-0,44	0,04	-0,03	-0,42	0,01	-0,20	-0,42	0,08
S ap	0,19	0,13	0,02	-0,35	0,10	-0,04	0,01	0,15	0,00	0,13	0,11	0,01
Ca ap	0,27	-0,15	-0,04	0,39	-0,11	-0,04	0,07	-0,16	-0,01	0,23	-0,13	-0,03
Mg ap	-0,07	-0,01	0,00	-0,30	-0,04	0,01	-0,09	-0,01	0,00	0,50	-0,07	-0,04
Cu ap	0,13	0,50	0,07	0,42	0,50	0,21	0,23	0,48	0,11	0,23	0,45	0,10
Mn ap	-0,26	0,43	-0,11	-0,45	0,47	-0,21	-0,32	0,44	-0,14	0,16	0,37	0,06
Zn ap	-0,08	0,31	-0,02	0,00	0,28	0,00	-0,13	0,33	-0,04	0,05	0,29	0,01
C solo	0,31	0,38	0,12	1,07	0,56	0,60	1,16	0,48	0,56	1,17	0,39	0,46
P solo	-0,65	-0,54	0,35	0,27	-0,33	-0,09	-0,22	-0,52	0,11	0,12	0,00	0,00
K solo	0,16	0,21	0,03	-0,15	-0,03	0,00	0,21	0,33	0,07	0,78	0,83	0,65
S solo	0,03	-0,43	-0,01	0,20	-0,57	-0,11	0,46	-0,52	-0,24	-0,62	-0,44	0,27
Ca solo	0,42	0,29	0,12	0,36	0,31	0,11	0,25	0,37	0,09	0,00	0,34	0,00
Mg solo	-0,60	-0,32	0,19	0,34	-0,11	-0,04	0,31	0,01	0,00	-0,43	0,02	-0,01
Cu solo	5,35	0,94	5,03	7,82	0,98	7,66	6,91	0,96	6,63	4,76	0,91	4,33
Mn solo	-0,58	0,25	-0,15	-0,49	0,36	-0,18	-0,48	0,29	-0,14	1,24	-0,09	-0,11
Zn solo	-0,08	-0,25	0,02	0,08	0,19	0,02	0,19	0,45	0,09	0,20	0,19	0,04
Al solo	-3,83	-0,54	2,07	-2,84	-0,73	2,07	-3,75	-0,85	3,19	-8,93	-0,93	8,30
H+Al solo	0,23	-0,11	-0,03	-0,78	0,00	0,00	-0,31	-0,27	0,08	1,27	-0,61	-0,77
pH solo	1,04	0,05	0,05	-0,59	0,32	-0,19	-0,60	0,58	-0,35	0,62	-0,47	-0,29
FCD 2												
N ap	0,77	0,21	0,16	1,22	0,17	0,21	0,83	0,18	0,15	1,00	0,20	0,20
P ap	-0,11	-0,05	0,01	-0,58	-0,16	0,09	-0,22	-0,20	0,04	-0,23	-0,09	0,02
K ap	0,37	0,15	0,06	-0,14	0,01	0,00	-0,12	-0,05	0,01	-0,24	0,00	0,00
S ap	-0,62	-0,20	0,12	-0,47	-0,32	0,15	-0,53	-0,36	0,19	-0,24	-0,25	0,06
Ca ap	0,88	0,48	0,42	0,76	0,54	0,41	0,94	0,54	0,51	1,09	0,52	0,57
Mg ap	-0,05	-0,23	0,01	-0,21	-0,21	0,04	-0,13	-0,25	0,03	-0,52	-0,18	0,09
Cu ap	0,06	0,25	0,02	0,54	0,24	0,13	0,64	0,28	0,18	0,22	0,30	0,07
Mn ap	0,53	0,59	0,31	0,34	0,56	0,19	0,53	0,56	0,30	1,02	0,62	0,63
Zn ap	0,22	0,08	0,02	-0,24	-0,09	0,02	-0,16	-0,14	0,02	0,07	0,03	0,00
C solo	-0,02	0,15	0,00	-0,64	-0,03	0,02	0,06	0,19	0,01	-0,31	0,01	0,00
P solo	0,21	0,23	0,05	0,20	0,45	0,09	-0,02	0,53	-0,01	0,04	-0,24	-0,01
K solo	-0,32	-0,38	0,12	0,22	0,24	0,05	-0,04	-0,29	0,01	0,62	-0,12	-0,07
S solo	0,19	-0,24	-0,05	0,49	-0,36	-0,18	-0,43	-0,49	0,21	0,29	-0,08	-0,02
Ca solo	-1,07	0,57	-0,61	-0,46	0,23	-0,11	-0,21	0,27	-0,06	0,21	0,34	0,07
Mg solo	-0,79	-0,51	0,40	0,22	-0,04	-0,01	-0,04	-0,34	0,01	0,09	0,23	0,02
Cu solo	2,04	0,30	0,61	2,60	0,18	0,47	2,47	0,26	0,64	2,69	0,34	0,91
Mn solo	2,20	0,41	0,90	1,58	0,42	0,66	1,45	0,43	0,62	-1,14	-0,52	0,59

Variável	(conclusão)											
	Camada de 0-5 cm			Camada de 5-10 cm			Camada de 10-20 cm			Camada de 20-40 cm		
	CCP	r	TDP	CCP	r	TDP	CCP	r	TDP	CCP	r	TDP
Zn solo	0,13	0,12	0,02	-0,41	-0,24	0,10	-0,24	-0,24	0,06	-0,24	-0,45	0,11
Al solo	4,00	0,68	2,72	3,63	0,49	1,78	3,95	0,39	1,54	2,89	0,20	0,58
H+Al solo	0,31	0,71	0,22	0,60	0,47	0,28	0,13	0,34	0,04	1,08	0,23	0,25
pH solo	-0,12	0,80	-0,10	0,12	-0,59	-0,07	0,19	-0,47	-0,09	0,15	0,44	0,07

3.5. Correlação Canônica

Foram selecionadas todas as correlações com autovalores superiores a 1, conforme sugerido por Manly (2008). As correlações 1 (correlação canônica = 0,91; autovalor = 5,02), 2 (correlação canônica = 0,84; autovalor = 2,44) e 3 (correlação canônica = 0,74; autovalor = 1,23) foram as mais importantes para a camada de 0-5 cm, pois explicaram 87% da variabilidade. Para a camada de 5-10 cm, as correlações 1 (correlação canônica = 0,91; autovalor = 4,53) e 2 (correlação canônica = 0,74; autovalor = 1,29) explicaram 80% da variabilidade. As correlações 1 (correlação canônica = 0,91; autovalor = 4,69) e 2 (correlação canônica = 0,72; autovalor = 1,06) foram as mais importantes para a camada de 10-20 cm, devido ao fato de terem explicado 80% da variabilidade. Na camada de 20-40 cm, apenas a correlação 1 (correlação canônica = 0,88; autovalor = 3,60) foi importante, pois explicou 57% da variabilidade.

A existência de correlação entre a quantidade de nutrientes aportados pela deposição do material vegetal ao solo e os atributos de fertilidade nas camadas avaliadas podem ser verificadas pela análise dos valores de correlação canônica (CC) (Tabela 8). Foram considerados valores de CC fora dos limites de -0,5 e 0,5,

devido ao fato de serem os mais importantes para estudo das possíveis correlações (MANLY, 2008).

Foram observados maiores valores positivos de CC para os aportes de Cu e Mn e os teores no solo de Cu e Mn, na primeira correlação canônica, para todas as camadas estudadas (Tabela 8). Isso indica que houve estreita relação entre teores de Cu e Mn aportados via deposição de material vegetal, e os teores encontrados destes elementos nos solos de todos os SAF's de produção de erva-mate. É comum relatos na literatura informando estreita relação positiva entre teores disponíveis de Cu no solo e na parte aérea de espécies florestais (RODRIGUES et al., 2010). Outro fator determinante na disponibilização de Cu as plantas está relacionado a sua diminuição, na medida de que ocorre o aumento do teor de matéria orgânica (ou de carbono) no solo (MOUTA et al., 2008). Todavia, no presente estudo, apesar de observadas variações nas concentrações de C no solo (Tabela 5), não foi o suficiente para a discriminação dos SAF's e nem para influenciar o Cu no sistema solo-planta.

Nas espécies florestais nativas (como, por exemplo, na erva-mate), normalmente os teores de Mn são elevados (maior que 1000 mg kg^{-1}) (REISSMANN e CARNEIRO, 2004; HEINRICHS e MALAVOLTA, 2001), em função de altos aportes e concentrações disponíveis deste micronutriente no solo (BOEGER et al., 2005). Ainda, os valores de pH normalmente observados nos SAF's de erva-mate (Tabela 5) estão em uma faixa ($\text{pH} < 5,5$) que favorece a disponibilidade de Mn as plantas (ABREU et al., 1994).

Tabela 8. Coeficientes canônicos padronizados (CCP) e correlações (CC) entre as variáveis canônicas e as variáveis de nutrientes aportados e de atributos de fertilidade do solo em diferentes camadas (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm).

(continua)

Variáveis	Correlação Canônica					
	1		2		3	
	CCP	CC	CCP	CC	CCP	CC
Camada de 0-5 cm						
<i>Nutrientes aportados pelas plantas</i>						
N	-0,01	0,31	-0,35	0,10	-0,22	0,13
P	0,00	-0,01	-0,13	0,06	-0,22	0,29
K	-0,28	-0,4	-0,39	-0,45	-0,34	-0,12
S	0,10	-0,07	-0,11	0,09	0,32	0,52
Ca	-0,04	0,12	-0,23	-0,49	-0,53	-0,52
Mg	-0,36	0,03	1,07	0,71	-0,54	0,12
Cu	0,02	0,62	0,00	0,19	0,34	0,29
Mn	1,07	0,87	-0,03	0,08	-0,32	0,07
Zn	-0,21	0,12	-0,22	-0,07	0,84	0,70
<i>Atributos de fertilidade do solo</i>						
P	0,37	0,15	0,38	0,31	-0,35	-0,80
K	-0,05	-0,01	0,40	0,43	-0,07	0,01
S	-0,04	-0,59	0,21	0,05	-0,41	0,25
Ca	0,14	0,52	0,21	-0,44	-0,50	-0,30
Mg	-0,19	-0,34	1,15	0,73	0,06	0,03
Cu	0,61	0,81	0,56	-0,07	0,97	0,51
Mn	0,44	0,66	-0,15	0,25	-0,30	0,11
Zn	-0,01	-0,03	-0,22	-0,08	0,09	0,01
Camada de 5-10 cm						
<i>Nutrientes aportados pelas plantas</i>						
N	-0,11	0,24	-0,20	0,01	-	-
P	0,08	0,00	0,04	0,37	-	-
K	-0,38	-0,51	-0,51	-0,50	-	-
S	0,10	-0,08	0,47	0,52	-	-
Ca	-0,06	0,09	-0,09	-0,34	-	-
Mg	-0,31	0,06	-0,43	0,04	-	-
Cu	0,12	0,63	-0,10	0,10	-	-
Mn	0,95	0,85	-0,19	0,03	-	-
Zn	-0,20	0,09	0,96	0,75	-	-
<i>Atributos de fertilidade do solo</i>						
P	0,29	0,25	-0,47	-0,76	-	-
K	-0,14	-0,03	0,00	0,10	-	-
S	-0,14	-0,67	0,69	0,25	-	-
Ca	-0,16	0,29	-0,35	-0,11	-	-
Mg	-0,01	-0,26	0,21	-0,03	-	-
Cu	0,57	0,80	1,01	0,47	-	-
Mn	0,41	0,74	-0,13	0,07	-	-
Zn	-0,13	-0,15	-0,17	0,14	-	-

(conclusão)

Variáveis	Correlação Canônica					
	1		2		3	
	CCP	CC	CCP	CC	CCP	CC
Camada 10-20 cm						
<i>Nutrientes aportados pelas plantas</i>						
N	-0,02	0,27	-0,21	0,06	-	-
P	0,08	-0,02	0,02	0,39	-	-
K	-0,41	-0,53	-0,44	-0,02	-	-
S	0,03	-0,09	0,53	0,58	-	-
Ca	-0,11	0,08	-0,46	-0,48	-	-
Mg	-0,40	0,03	-0,65	0,06	-	-
Cu	0,16	0,64	-0,13	0,09	-	-
Mn	0,88	0,83	-0,06	0,01	-	-
Zn	-0,15	0,09	0,75	0,70	-	-
<i>Atributos de fertilidade do solo</i>						
P	0,24	0,11	-0,13	-0,73	-	-
K	0,18	0,20	-0,10	0,22	-	-
S	-0,29	-0,68	0,64	0,17	-	-
Ca	-0,02	0,28	-0,38	-0,07	-	-
Mg	-0,05	-0,35	0,12	0,22	-	-
Cu	0,56	0,82	1,13	0,50	-	-
Mn	0,40	0,70	-0,47	-0,05	-	-
Zn	-0,09	0,08	0,28	0,63	-	-
Camada de 20-40 cm						
<i>Nutrientes aportados pelas plantas</i>						
N	-0,08	0,36	-	-	-	-
P	0,07	0,12	-	-	-	-
K	-0,33	-0,41	-	-	-	-
S	0,13	0,06	-	-	-	-
Ca	-0,09	-0,02	-	-	-	-
Mg	-0,33	0,16	-	-	-	-
Cu	0,14	0,70	-	-	-	-
Mn	0,94	0,91	-	-	-	-
Zn	-0,08	0,25	-	-	-	-
<i>Atributos de fertilidade do solo</i>						
P	-0,15	-0,30	-	-	-	-
K	0,04	0,41	-	-	-	-
S	-0,10	-0,42	-	-	-	-
Ca	0,12	0,36	-	-	-	-
Mg	0,00	0,33	-	-	-	-
Cu	0,55	0,86	-	-	-	-
Mn	-0,47	-0,74	-	-	-	-
Zn	-0,11	-0,31	-	-	-	-

Com relação aos teores de Ca no solo, na camada de 0-5 cm, os valores de CC foram positivamente altos na primeira correlação canônica (Tabela 8), indicando maiores teores de Ca, o que demonstra a importância da serapilheira na ciclagem deste nutriente, uma vez que a serapilheira acumulada sobre a superfície do solo é a principal fonte de mineralização de Ca (COSTA et al., 2005). Dentre os fatores que contribuem para os teores de Ca na serapilheira, está a sua baixa mobilidade nos tecidos vegetais e a longevidade das folhas (CALDEIRA, et al., 2007).

Na camada de 0-5 cm, a segunda correlação canônica apresentou valores negativos de CC para as variáveis aporte e teores no solo de Ca, e valores positivos de CC para as variáveis aporte e teores no solo de Mg (Tabela 8), o que indica a relação inversa entre Ca e Mg, tanto no aporte destes nutrientes via deposição de material vegetal, quanto nos teores encontrados no solo. A baixa relação Ca:Mg dos solos sob SAF's de erva-mate estudados, favorece a absorção e acúmulo de Mg pelas plantas, como o observado para erva-mate (REISSMANN e CARNEIRO, 2004), espécie na qual são encontrados altos teores de Mg nas folhas secas (HEINRICH e MALAVOLTA, 2001).

Foram observados maiores valores negativos de CC para os teores de S no solo, na primeira correlação canônica, para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 (Tabela 8), isso se deve aos baixos teores de S no solo, causado pela repulsão do S na forma solúvel (SO_4^{-2}), o que ocorre tão logo o S é mineralizado da matéria orgânica (NETO et al, 2001).

Com relação a segunda correlação canônica, foram observados maiores valores positivos de CC para o aporte de S, e menores CC para os teores de P no solo, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. Esse resultado foi decorrente do maior aporte de S, aproximadamente duas vezes maior que o aporte de P (Tabela 4), pois

as interações são desprezíveis devido aos baixos teores de ambos no solo da maior parte dos SAF's (Tabela 5). O que garante o adequado suprimento de S e P em espécies florestais são as associações com fungos micorrízicos (TRINDADE, et al., 2001; PEREIRA, et al., 1996). A erva-mate apresenta abundante associação com endomicorrizas (GAIAD e LOPES, 1986), e apresenta baixos teores de P em suas folhas sem que haja evidências de sintomas de deficiência deste elemento, tratando-se de uma espécie adaptada às condições de baixos teores de P no solo (RADOMSKI, et al., 1992; REISSMANN et al., 1983).

A relação de afinidade entre os teores de Zn no solo e os teores aportados desse mineral, também foram descritos pela segunda correlação canônica na camada de 10-20 cm, onde os valores de CC foram positivamente altos para os aportes e teores no solo (Tabela 8).

Os teores de micronutrientes (Cu, Mn e Zn) no solo estão relacionados com o aporte destes elementos minerais via deposição de material vegetal; porém, Cu e Mn são mais importantes na correlação entre os teores no solo e na planta. A dinâmica dos micronutrientes está relacionada, direta ou indiretamente, pelo aporte contínuo de material vegetal, que ao longo do tempo, após o processo de decomposição são liberados e posteriormente absorvidos pelas plantas (CARMO, et al., 2012).

4. CONCLUSÕES

A adoção dos sistemas agroflorestais na produção de erva-mate contribui significativamente para a deposição de material vegetal ao solo, com aportes de serapilheira semelhantes aos observados para a Floresta Ombrófila Mista.

A deposição de material vegetal se mostrou importante fonte de nutrientes para os SAF's de erva-mate, entre os macronutrientes destaca-se o aporte N, Ca e K, e entre os micronutrientes o elevado aporte de Mn.

Os aportes de minerais, e os teores de minerais encontrados nos solos sob SAF's de produção de erva-mate, são influenciados pela composição florística, e pela classe e origem do solo.

A análise de discriminantes canônicos foi eficiente na avaliação das diferenças entre os SAF's de erva-mate, apontado as variáveis teores de Cu e Al no solo como as responsáveis pela discriminação dos sítios.

A fertilidade do solo é dependente do aporte de nutrientes via deposição de material vegetal nos SAF's de erva-mate. Existe estreita relação entre o aporte de Ca, Mg, Cu, Mn e Zn e os teores destes elementos no solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; NOVAIS, R.F.; RAIJ, B.van. & RIBEIRO, A.C. Influência da reação do solo na extração de manganês por diferentes extratores químicos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 18, p. 91-99, 1994.
- ALLEONI, L. R. F. et al. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Sci. Agron.**, v. 27, n. 4, p. 729-737, out./dez., 2005.
- ANDERSON, S. H. et al. Soil water and infiltration in agroforestry buffer strips. **Agroforest Systems**, v. 75, p. 5-16, mar. 2009.
- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e Decomposição de Serapilheira em um Sistema Agroflorestal Implantado para Recuperação de Área Degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 27, p. 715-721, 2003.
- ARAÚJO, W. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Influência das propriedades físicas e químicas de solos intemperizados na adsorção de chumbo, cobre e zinco. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 167-180, 2000.
- ARIAS, M.; PÉREZ-NOVO, C.; SOTO, E. L. B. Competitive adsorption and desorption of copper and zinc in acid soils. **Geoderma**, n. 133, p. 151-159, 2006.
- BARETTA, D.; MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; CARDOSO, E. J. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucária angustifolia*. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2683-2691, 2008.
- BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. **Acta Bot. Bras.**, v. 19, n. 1, p. 167-181, 2005.
- BORGES, L. R; LÁZZARI, S. M. N; LÁZZARI, F. A. Comparação dos sistemas de cultivo nativo e adensado de erva-mate, *Ilex paraguariensis* St. Hil., quanto à ocorrência e flutuação populacional de insetos. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, n. 4, p. 563-568, dez. 2003.
- BRASIL. 2010. **Resolução CONAMA n.º 425**, de 25 de maio de 2010.

BRITZ, R. M. et al. Deposição estacional de serapilheira e macronutrientes em uma floresta de araucária, São Mateus do Sul, Paraná: In: II CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS: CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. (1992: São Paulo). **Anais ...** . Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 4, n. único, parte 4, 1992. p. 766-772.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta ombrófila mista montana em General Carneiro, Paraná.** 2003, 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Teores de micronutrientes em espécies arbóreas da floresta ombrófila mista montana – General Carneiro/PR. **Ambiência** - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, v. 2, n. 1, jan/jun, 2006.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Rev. Acad.**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, abr./jun. 2007.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 53-68, jan/mar, 2008.

CARMO, D. L. et al. Micronutrientes em solo e folha de cafeeiro sob sistema agroflorestal no Sul Minas Gerais. **Rev. Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 76-83, 2012.

CASTELLA, P.R.; BRITZ, R.M. (Org.). **A Floresta com Araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos Remanescentes.** Brasília: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2004, 236p.

CHAIMSOHN, F. P.; DE SOUZA, A. M. eds. **Sistemas de produção tradicionais e agroflorestais no Centro-sul do Paraná e Norte Catarinense.** Ponta Grossa : [os editores], 2012, 128 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004, 400 p.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005.

CRUZ-CASTILLO, J.G. et al. Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. **HortScience**, v. 29, p. 1115-1119, 1994.

DERAL. **Produção florestal no Estado do Paraná**. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Tab_prod_florest.pdf. Acesso em: 20 jun. 2014.

DE SOUZA, A. M.; CHAIMSOHN, F. P. Dos ervais ao mate: possibilidade de revalorização dos tradicionais processo de produção e de transformação de erva-mate no Planalto Norte Catarinense. IN: _____. **Sistemas de produção tradicionais e agroflorestais no Centro-sul do Paraná e Norte Catarinense: Contribuições para a construção do processo de indicação geográfica**. Ponta Grossa: IAPAR/EPAGRI, 2013. p. 32-105.

FERREIRA, R. L.; LIRA, M. A.; ROCHA, M. S.; SANTOS, M. V.; LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e Acúmulo de Matéria Seca e Nutrientes em Serapilheira em um Bosque de Sábia. (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.). **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.1, p.7-12, 2007.

FIGUEIREDO FILHO, et al. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003.

FOSSATI, I. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), em função do sítio e da dioícia**. 1997, 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

GAIAD, S.; LOPES, E. S. Ocorrência de micorriza vesicular-arbuscular em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 12, p. 21-29, jun. 1986.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p. 193-207, 2002

HEINRICH, R.; MALAVOLTA, E. Composição mineral do produto comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 781-785, 2001.

IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Instituto Agrônomo do Paraná. Londrina-PR, p.45, 1994.

IBGE. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, v. 39, p. 101, 2012. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2012/pam2012.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2014.

ILANY, T. et al. Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. **Agroforest Systems**, v. 80, p. 399–409, 2010.

JORDÃO, C. P.; ALVES, J. L. P.; BELLATO, C. R. Adsorção de íons Cu^{2+} em Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico. **Química Nova**, v. 23, n. 1, 2000.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo IN: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências dos Solos, 2009. v. 1 p. 333-371.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. 1. ed. Botucatu/Londrina: Agroecológica/IAPAR, v. 1, 2001, 348 p.

LINDSAY W. L. **Chemical equilibria in soils**. Nova Iorque : JohnWiley & Sons, 1979, 449 p.

LONGHI, R. V. et al. Produção de serapilheira e retorno de macronutrientes em três grupos florísticos de uma floresta ombrófila mista, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 699-710, out./dez., 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997, 319p.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3. ed., Porto Alegre : Bookman, 2008. 229p.

MATTIAS, J. L. et al. Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 34, n. 4, p. 1445-1454, ago., 2010.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; RUCKER, N. G. A. **Prospecção Tecnológica da Cadeia Produtiva da Erva - Mate**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, 1996. 125 p.

MAZUCHOWSKI, J. Z.. **Manual da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Curitiba: EMATER-Pr, 1989, 104p.

MOUTA, E. R.; SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C. Copper adsorption as a function of solution parameters of variable charge soils. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 19, n. 5, p. 996-1009, 2008.

NETO, A. E. F. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 261 p.

NOVAIS, R. F.; MELLO, W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. et al. eds. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
OLIVEIRA, T. S.; COSTALL, L. M. Metais pesados em solos de uma topolitossequência do Triângulo Mineiro. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 28, n. 5, jul/ago, 2004.

PAVAN, M. A. et al.. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina : IAPAR, 1992. 40 p.

PEREIRA, E. G. et al. Efeito da micorriza e do suprimento de fósforo na atividade enzimática e na resposta de espécies arbóreas ao nitrogênio. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 8, n. 1, p. 59-65, 1996.

PEZZATO, A. W.; WISNIEWSKI, C. Produção de serapilheira em diferentes seres sucessionais da Floresta Estacional Semidecidual no Oeste do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, jan/abr, p. 111-120, 2006.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus***. Implicações silviculturais. 1985. 221 f. (Tese de Livre-docência), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1985.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p.

RADOMSKI, M. I. et al. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. In: II CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS: CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. (1992: São Paulo). **Anais ...**. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 4, n. único, parte 2, 1992. p. 453-456.

REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, C. Crescimento e composição química de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.), transcorrido oito anos de calagem. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 381-286, set./dez. 2004.

REISSMANN, C. B. et al. Avaliação das exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVA-MATE, 10, 1983, Curitiba. **Documentos 15 ...** Colombo: EMBRAPA / CNPF, 1985, p. 128-140.

REISSMANN, C.B. et al. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre cambissolos na região de Mandirituba-Pr. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 16, n. 2, p. 49-54, 1983.

REISSMANN, C.B.; PREVEDELO, B. M.S. Influência da Calagem no Crescimento e na Composição Química Foliar da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). IN: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS: CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (1992: São Paulo). **Anais ...** Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 4, n. único, parte 4, 1992. p. 625 - 629.

RIBEIRO, M. M.; REISSMANN, C. B.; CORRÊA, D. R. Nutrição da erva-mate com sulfato de amônio. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 204-211, jul./set. 2008.

RODRIGUES, F. A. V. et al. Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos de cerrado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 34, n. 6, p. 1923-1932, 2010.

SANTOS, S. C. L. dos. **Avaliação comparativa entre sistema agroflorestal com erva-mate e fragmento de Floresta Ombrófila Mista quanto à fitossociologia, parâmetros químicos e físicos do solo e ciclagem de nutrientes**. 2009, 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SARTORIO, D. S. **Aplicação de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R**. 2008, 130 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SCHUMACHER, M. V. et al. Espécies predominantes na deposição de serapilheira em fragmentos de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 479-486, ju/set, 2011.

SHIBU, J. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforest Systems**, v. 76, p. 1-10, abr. 2009.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed., Brasília : EMBRAPA Informações Tecnológicas, 2009, 627 p.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. eds. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

SIGNOR, P. **Biomassa comercial de *Ilex paraguariensis* St.-Hil. E sua relação com variáveis ambientais em floresta com araucária, Paraná**. 2013, 90 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal), Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2013.

SOUZA, J. L. M. et al. Exportação de nutrientes foliares em diferentes tipos de poda na cultura da erva-mate. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 177-185, 2008.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de Eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Rev. Cerne**, v. 7, n. 1, p. 101-103, 2001.

STEENBOCK, W. et al. org. **Agrofloresta, ecologia e sociedade**. 1. ed. Curitiba: Kairós, 2013. 422 p.

TRINDADE, A. V. et al. Efeito de fungos ectomicorrízicos na resposta de mudas de *Eucalyptus grandis* a enxofre no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 2, p.167-173, 2001.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; DOS ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n.1, p.111-118, 2003.

VENDRAME, P. R. S. et al. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 42, n. 6, p. 859-864, jun., 2007.

VIEIRA, A. R. R. et al. Influência do microclima de um sistema agroflorestal na cultura de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 91-97, 2003.

VITTI, G. C.; SUZUKI, J.A. **A determinação do enxofre – sulfato pelo método turbidimétrico**. Jaboticabal: Universidade Estadual de São Paulo, 1978. 13p.