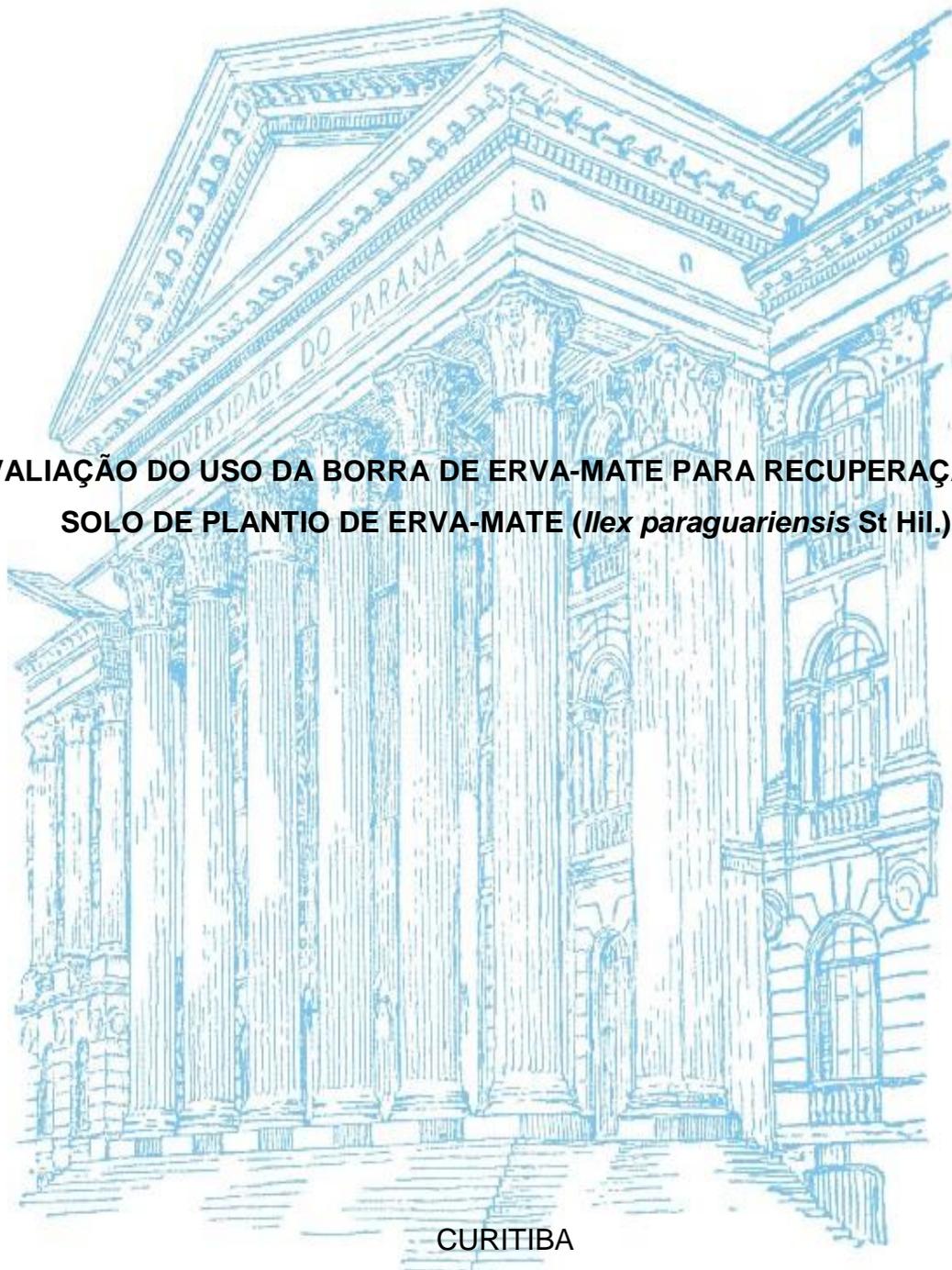


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ARON PINTO DE SOUSA

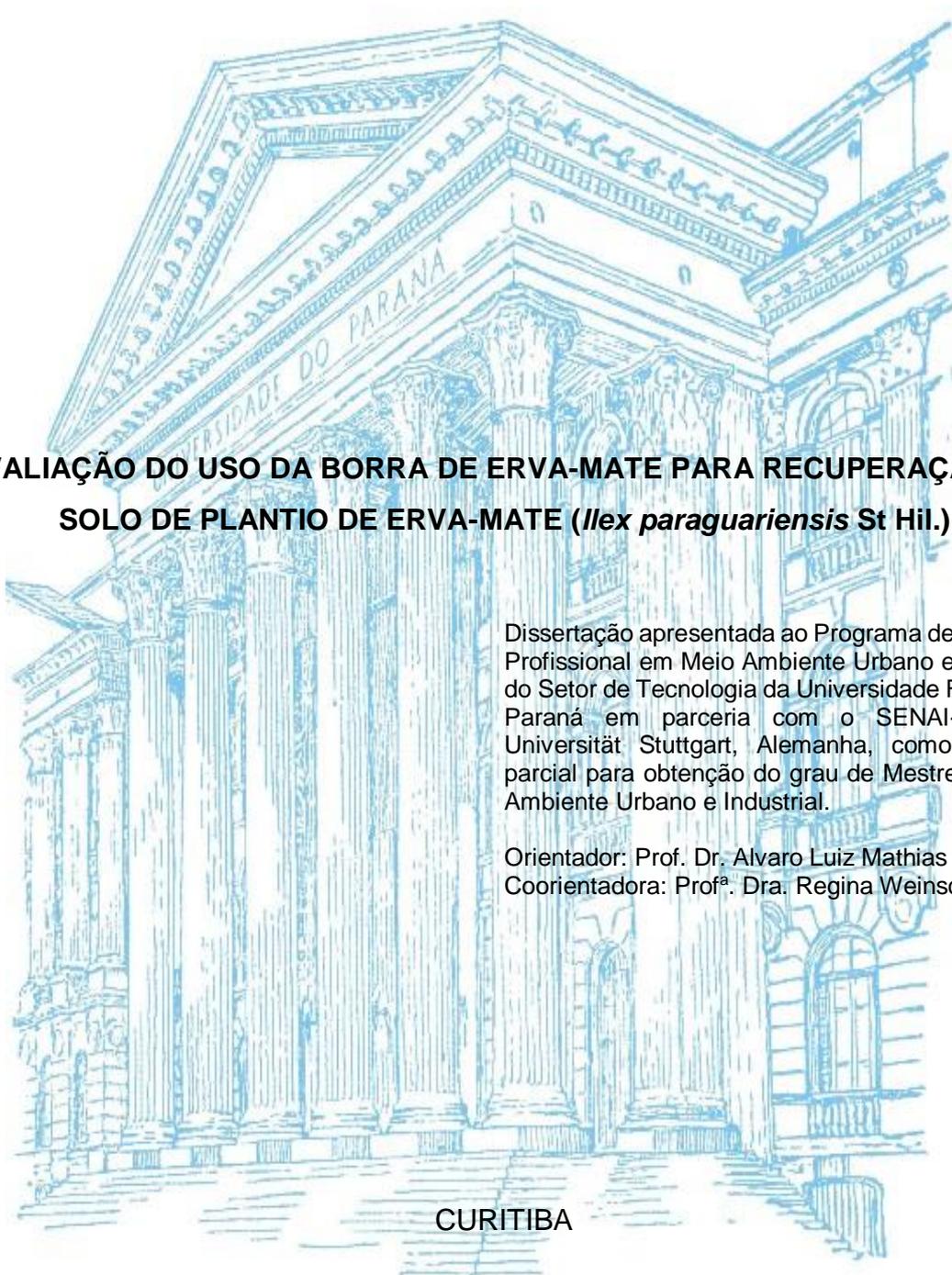
AVALIAÇÃO DO USO DA BORRA DE ERVA-MATE PARA RECUPERAÇÃO DO SOLO DE PLANTIO DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St Hil.)



CURITIBA

2013

ARON PINTO DE SOUSA



AValiação DO USO DA BORRA DE ERVA-MATE PARA RECUPERAÇÃO DO SOLO DE PLANTIO DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St Hil.)

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universität Stuttgart, Alemanha, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alvaro Luiz Mathias
Coorientadora: Prof^a. Dra. Regina Weinschutz

CURITIBA

2013

S725a

Sousa, Aron Pinto de

Avaliação do uso da borra de erva-mate para recuperação do solo de plantio de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.)/ Aron Pinto de Sousa. – Curitiba, 2013.

85 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universität Stuttgart; SENAI-PR; Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, 2013.

Orientador: Alvaro Luiz Mathias – Co-orientador: Regina Weinschutz.
Bibliografia: p. 69-74.

1. Erva-mate (*Ilex paraguariensis*). 2. Resíduos vegetais - Reaproveitamento. 3. Fertilidade do solo . I. Universidade Federal do Paraná. II. SENAI-PR. III. Universität Stuttgart. IV. Mathias, Alvaro Luiz. V. Weinschutz, Regina . VI. Título.

CDD: 631.874

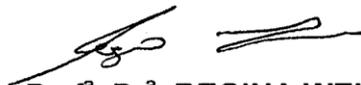
TERMO DE APROVAÇÃO

ARON PINTO DE SOUSA

AVALIAÇÃO DO USO DA BORRA DE ERVA-MATE PARA RECUPERAÇÃO DO SOLO DE PLANTIO DE ERVA-MATE (ILEX PARAGUARIENSIS ST HIL.)

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):


Prof.^a. Dr.^a. REGINA WEINSCHUTZ
MAUI/UFPR


Prof. Dr. ANTONIO CARLOS MOTTA
DSEA/UFPR


Prof. Dr. JUAREZ SOUZA DE OLIVEIRA
MAUI/UFPR




Prof(a). Dr(a). MARGARETE CASAGRANTE LASS ERBE
Coordenadora do PPGMAUI-UFPR

Curitiba, 27 de agosto de 2013.

DEDICATÓRIA

A toda minha família, amigos, e colegas
que participaram direta ou indiretamente
deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Avaro Mathias, pela orientação e a Professora Dra. Regina Weinschutz, pela coorientação, meus especiais agradecimentos;

Ao Professor Dr. Antonio Carlos Vargas Motta, pelos ensinamentos, ajuda e disponibilização do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR, e à sua equipe do laboratório, meus especiais agradecimentos;

Ao Professor Dr. Volnei Pauletti, pela abertura do Laboratório de Biogeoquímica da UFPR, e à sua equipe do laboratório, meus especiais agradecimentos;

À Leão Alimentos e Bebidas, representada pelos colaboradores Luciana Marques, Marcelo dos Santos e Victor Genta, pelo fornecimento do resíduo borra de erva-mate, e informações importantes à concretização deste trabalho;

Ao ervateiro Gilmar Rebesco e sua equipe, pelo apoio à implantação do experimento em seu erval, e disponibilização de recursos;

Ao Sr. Felipe pelo esforço dispensado durante as atividades de campo;

Aos professores do Laboratório de Estatística da UFPR, Dr. Bruno Churata e Dra. Fernanda Rizzato, pela assessoria estatística;

Aos docentes do PPGMAUI pelos ensinamentos transmitidos;

À Professora Msc. Marielle Feilstrecker por todo apoio e organização durante o PPGMAUI;

Aos professores Dra. Daniela Neuffer, Dr. Uwe Menzel, Dr. Jorg Metzger e Dr. Klaus Fischer, pelo acolhimento e atenção durante o Curso de Extensão na Alemanha; e

Aos colegas Julierme Zimmer, Maico Pergher e Murilo Gomes, pela atenção dispensada.

RESUMO

A produção de erva-mate vem crescendo no Brasil e o Paraná é o estado com a maior produção. A colheita da erva-mate provoca alguns impactos negativos, entre os quais a redução da fertilidade do solo em consequência da exportação de nutriente do solo, os quais devem ser periodicamente repostos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de reposição dos nutrientes exportados do solo pela adição do resíduo de borra de erva-mate (0, 14.100, 28.200, 56.400 e 84.600 kg ha⁻¹) originado no processo industrial da produção de extrato de erva-mate. O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados. As análises para avaliar a fertilidade do solo do erval foram realizadas mensalmente nas profundidades de 0 a 10 e de 10 a 20 cm até 210 dias após aplicação da borra de erva-mate. Foram também avaliados os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas de erva-mate com 210 dias após aplicação do resíduo, bem como o tamanho dos ramos e peso seco das folhas. As concentrações de fósforo, magnésio e alumínio, bem como os valores de pH e eletrocondutividade, no solo permaneceram muito baixas em ambas as profundidades sem variações significativas entre os tratamentos. O teor de potássio apresentou variação significativa em ambas as profundidades, sendo que na camada de 0 a 10 cm tais variações iniciaram a partir dos 90 dias após aplicação da borra, e a maior dose de resíduo proporcionou em ambas as profundidades as maiores concentrações médias de potássio. Variações significativas também foram observadas nos teores de sódio na camada de 0 a 10 cm após aplicação do resíduo. Os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na folha de erva-mate não foram influenciados de forma significativa pela aplicação das doses crescentes de borra de erva-mate, o mesmo foi observado para o crescimento dos ramos e produção de massa seca. A borra de erva-mate usada se classifica como resíduo não perigoso e não inerte, e apesar das elevadas doses aplicadas deste resíduo em solo, não foram observados quaisquer efeitos adversos no solo e planta, além de melhorar suas características, desta forma, a borra de erva-mate pode ser aplicado como condicionador de solo do erval e é uma fonte complementar de nutrientes, sendo relevante para o íon potássio.

Palavras-chave: reciclagem agrícola; borra de erva-mate; fertilidade do solo; resíduo.

ABSTRACT

The production of *yerba mate* is growing in Brazil and Paraná is the state with the highest production. The harvest of *yerba mate* causes some negative impacts, including the reduction of soil fertility as a result of the export of nutrient soil, which must be periodically replaced. The objective of this study was to evaluate the replacement ability of the exported nutrients from the soil by the addition of waste of *yerba mate* dregs (0, 14,100, 28,200, 56,400 and 84,600 kg ha⁻¹) originated from the industrial process production of concentrate of *yerba mate*. The experiment was conducted in a randomized block design. Analyzes to evaluate soil fertility were held monthly at depths of 0-10 and 10-20 cm up to 210 days after application of *yerba mate* dregs. We also evaluated the levels of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in the leaves of *yerba mate* 210 days after application, as well as the size of branches and dry weight of leaves. Concentration of phosphorus, magnesium and aluminum, as well as the pH and electroconductivity, in the soil remained very low in both depths without significant differences between the treatments. The potassium concentration presented significant variation in both depths, and in the depth 0-10 cm such changes initiated from 90 days after application of *yerba mate* dregs, and the highest dose of the waste provided at both depths the highest average of potassium concentration. Significant changes were also observed in the sodium concentration after waste application in a depth of 0 to 10 cm. The concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in the *yerba mate* leaves were not influenced significantly by the application of increasing doses of *yerba mate* dregs, this behavior was observed for the growth of branches and dry matter production. The *yerba mate* dregs is classified as a non-hazardous waste and non-inert, and despite high doses of this waste applied in soil, none adverse effects on soil and plant were observed, besides improving its characteristics, therefore, the *yerba mate* dregs can be applied as a soil conditioner of herbal and its a complementary source of nutrients, as to the potassium ion.

Keywords: agricultural recycling; *yerba mate* dregs, soil fertility; waste.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Fluxograma resumido do processo industrial de produção de extrato bruto de erva-mate e cogeração da borra.	38
FIGURA 2. Resíduo ou borra de erva-mate utilizado para aplicação no solo	39
FIGURA 3. Croqui de um bloco experimental, contendo, cinco parcelas cada uma com um tratamento, e distâncias em metros.	40
FIGURA 4. Esquema das erveiras selecionadas (em vermelho) e dos terços cujas folhas foram colhidas para análise foliar, medição de massa seca e tamanho.	44
FIGURA 5. Teor de fósforo no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (: 0 a 10 cm; :10 a 20 cm).	50
FIGURA 6. Teor de potássio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (: 0 a 10 cm; :10 a 20 cm).	53
FIGURA 7. Teor de cálcio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (: 0 a 10 cm; :10 a 20 cm).	54
FIGURA 8. Teor de magnésio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (: 0 a 10 cm; :10 a 20 cm).	55
FIGURA 9. Teor de alumínio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (: 0 a 10 cm; :10 a 20 cm).	56
FIGURA 10. Teor de sódio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (: 0 a 10 cm; :10 a 20 cm)	57
FIGURA 11. pH (CaCl ₂) do solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (: 0 a 10 cm; :10 a 20 cm).	58

FIGURA 12. Eletrocondutividade solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (: 0 a 10 cm; :10 a 20 cm).	59
FIGURA 13. Teor de nitrogênio total na folha de erva-mate com 210 dias após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.....	60
FIGURA 14. Teor de fósforo na folha de erva-mate 210 após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.	61
FIGURA 15. Teor de potássio na folha de erva-mate 210 após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.	62
FIGURA 16. Teor de cálcio na folha de erva-mate 210 após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.	63
FIGURA 17. Teor de magnésio na folha de erva-mate 210 após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.	64
FIGURA 18. Tamanho médio do ramo de erva-mate após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate.....	65
FIGURA 19. Massa seca total de um conjunto de 10 folhas de erva-mate após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate.	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Recomendação de adubação de reposição de nitrogênio, fósforo e potássio para cultura da erva-mate, adaptado de Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).....	18
TABELA 2. Descrição dos tratamentos utilizando o resíduo industrial borra de erva-mate, para aplicação em solo de erval.....	42
TABELA 3. Caracterização do solo do erval antes da aplicação do resíduo borra de erva-mate no solo.....	45
TABELA 4. Caracterização do resíduo borra de erva-mate aplicada ao solo.....	46
TABELA 5. Concentração de componentes minerais obtidos na borra de erva-mate e na folha de erva-mate em outros estudos.	47
TABELA 6. Análise química de outros resíduos orgânicos.	48
TABELA 7. Concentração de metais pesados no extrato lixiviado da borra de erva-mate, conforme ABNT NBR 10004:2004.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	A ERVA-MATE	17
2.2	RECICLAGEM AGRÍCOLA DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	19
2.3	EFEITO DO USO DE RESIDUO ORGÂNICO SOBRE O SOLO	20
2.4	CONSTITUIÇÃO DO SOLO	21
2.5	INTERAÇÕES ENTRE NUTRIENTES E SOLO.....	22
2.6	NITROGÊNIO.....	24
2.7	FÓSFORO.....	26
2.8	POTÁSSIO	28
2.9	MACRONUTRIENTES SECUNDÁRIOS	30
2.9.1	Cálcio.....	30
2.9.2	Magnésio	32
2.10	ACIDEZ E CALAGEM	33
2.11	ELETROCONDUTIVIDADE DO SOLO.....	34
2.12	AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS	35
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	36
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE.....	36
3.3	DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA	39
3.4	DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS	41
3.5	CARACTERÍSTICAS RESPOSTA	42

4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DO ERVAL ANTES DA APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE	44
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE	45
4.3	RESULTADOS SOLO APÓS APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE ..	49
4.3.1	Fósforo.....	49
4.3.2	Potássio.....	50
4.3.3	Cálcio.....	53
4.3.4	Magnésio	54
4.3.5	Alumínio.....	55
4.3.6	Sódio	56
4.3.7	pH.....	57
4.3.8	Eletrocondutividade	58
4.4	RESULTADOS NA PLANTA APÓS APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE.....	59
4.4.1	Nitrogênio	59
4.4.2	Fósforo.....	60
4.4.3	Potássio.....	61
4.4.4	Cálcio.....	62
4.4.5	Magnésio	63
4.4.6	Crescimento do ramo	64
4.4.7	Massa seca da folha.....	65
5.	CONCLUSÕES	67
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
7.	APÊNDICES	75
	ANEXO 1 – MÉTODOS EMPREGADOS NAS ANÁLISES DE SOLO	80

1 INTRODUÇÃO

O consumo de erva-mate vem aumentando no Brasil, um sinal deste crescimento é que a área cultivada com erva-mate teve um aumento de oito vezes desde 1990, equivalente a 75.000 ha de área cultivada total. Na Argentina, a área de cultivo de erva-mate está entre 150.000 e 216.000 ha, e o Paraguai apresenta cerca de 31.000 ha de cultivo de erva-mate. Na Argentina, a produção anual de erva-mate cancheada¹ é de aproximadamente 270.000 ton, no Brasil este número é de 226.000 ton, e no Paraguai 87.500 ton. No Brasil, existem cerca de setecentas empresas processadoras de erva-mate (DANIEL, 2009).

No Brasil, são quatro os principais estados produtores de erva-mate, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, sendo esta a ordem crescente de produção, portanto, o Paraná é o estado com a maior produção de erva-mate no país (DANIEL, 2009).

A erva-mate além de originar uma bebida saborosa, possui propriedades farmacológicas (GUGLIUCCIB, 2011), e não pelo acaso, a produção de erva-mate cresceu 49,8% de 1990 a 2007, chegando a uma produção anual de 225.957 toneladas. A área total colhida de erva-mate em 2009 foi de 74.526 ha. A colheita de erva-mate no Brasil é normalmente realizada pelo método manual, realizando-se cortes transversais de baixo para cima com uso de facão. Com este tipo de colheita, o rendimento médio é de 15 a 25 kg de folha verde por erva (DANIEL, 2009).

As folhas colhidas obtêm nutrientes do solo, logo, ocorre uma exportação de nutrientes através da colheita. O solo sofre um decréscimo em sua fertilidade, desta forma uma reposição nutricional deve ser feita para manutenção de sua fertilidade, de forma a permitir uma boa produtividade futura (WILD, 1993).

Parte das folhas colhidas e já beneficiadas segue para o processo de extração. Este processo é uma das etapas empregadas na indústria da erva-mate. Essencialmente, consiste em alimentar um percolador, com folhas de erva-mate (100% de folhas beneficiadas), e submetê-las a extração com vapor e água quente. Deste processo, obtém-se o extrato de erva-mate e sua borra. Assim, as folhas que foram utilizadas na alimentação do percolador, tornam-se resíduo, ainda com uma

¹ É a erva-mate bruta submetida ao processo de secagem, malhação, triturações ou cancheamento, que constituem matéria-prima para indústrias de beneficiamento.

determinada concentração daqueles nutrientes exportados do solo. Este resíduo, denominado borra de erva-mate, pode apresentar um potencial interesse agrônomo, de modo a ser adicionado ao solo para repor parte dos nutrientes exportados através da colheita da erva-mate. Assim, tendo em vista a crescente demanda social por alimentos e qualidade ambiental, torna-se essencial a utilização de recursos com maior eficácia, incluindo os nutrientes.

Segundo Guedes *et al.* (2006, p. 268), a aplicação de resíduos como fonte de nutriente para o solo pode trazer economia ao agricultor e ao gerador do resíduo, uma vez que poderão, respectivamente, minimizar custos com aquisição de fertilizantes ou condicionador de solo e reduzir as despesas com destinação de resíduos, além da contribuição ambiental.

Esta prática de reciclagem agrícola vem sendo estudada no Brasil e no mundo, nas mais variadas culturas e solos. Proietti *et al.* (2013, p. 292) aplicaram 50 toneladas de resíduo de oliva, anualmente durante quatro anos, no solo de um plantio de oliveiras e observaram a elevação do teor de potássio trocável e aumento da população microbiana do solo, e aumento no peso do fruto seco, sem qualquer alteração das características sensoriais do azeite extraído.

Gandára *et al.* (2008, p. 6771) testaram o potencial agrônomo do resíduo de perlite gerado por indústrias de vinho, em vasos com sementes de *Lolium multiflorum*. Ao final das avaliações constataram aumento no pH em 2 unidades e aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, e resposta no crescimento de *Lolium multiflorum* para doses inferiores a 2,5 g de resíduo de perlite por kg de solo.

Santos *et al.* (2011, p. 83), aplicaram separadamente resíduos de lodo de esgoto, esterco de curral e adubo químico, em covas de plantio de tangerina. Os autores notaram aumento significativo nos teores de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, e enxofre no solo manejado com resíduo orgânico, em comparação ao solo adubado quimicamente, e ainda, nas folhas de tangerina, os resíduos orgânicos aumentaram significativamente as concentrações de nitrogênio, fósforo e cálcio.

A aplicação de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes ao solo pode aumentar a produção de uma determinada cultura, bem como, não influenciar, ou até causar um efeito depressivo na produção ou qualidade do solo. Surge então a

necessidade de que o uso do resíduo na agricultura deva ser cuidadosamente examinado.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso do resíduo oriundo do processo industrial de produção de extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.) como fonte de nutrientes para o solo de plantio desta cultura.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Avaliar as características físico-químicas (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, carbono, pH, acidez potencial, soma de bases², capacidade de troca catiônica³, saturação por base e saturação por alumínio) do solo superficial do erval antes da aplicação da borra;

b) Classificar o resíduo sólido, a borra de erva-mate, quanto a sua periculosidade, bem como avaliar suas características agronômicas;

c) Avaliar a resposta do solo submetido a doses crescentes do resíduo borra de estimadas para fertilização do solo em relação ao nitrogênio, por meio de análises de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, sódio, pH e eletrocondutividade do solo superficial do plantio;

d) Avaliar a resposta da planta de erva-mate, quando submetida a doses crescentes do resíduo borra de erva-mate, por meio de análises de nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio e magnésio; e

e) Avaliar alteração no crescimento dos ramos das erveiras e na produção de massa seca em função das doses de resíduo de borra de erva-mate.

² Soma de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺

³ Quantidade total de cátions retidos à superfície do solo em condição permutável

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A ERVA-MATE

A maior parte da produção de erva-mate dos estados do Paraná e Santa Catarina deve-se aos ervais nativos. No Brasil, cerca de 90% da produção é proveniente de ervais nativos (DANIEL, 2009). A erva-mate desenvolve-se predominantemente em clima tipo Cfb⁴, segundo classificação de Koeppen, entretanto, também pode ser encontrada em climas tipo Cfa⁵ e Cwa⁶ (OLIVEIRA e ROTTA, 1985).

Em relação ao solo das áreas de ocorrência natural de erva-mate, estes apresentam geralmente boa drenagem, ácidos, com elevado teor de alumínio trocável e de matéria orgânica, e baixa saturação de bases. Em geral, a textura do solo onde se encontra erva-mate é argilosa, porém, ocorre também em solos de textura média (15 a 35% de argila) (DANIEL, 2009).

A Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004) faz recomendação de adubação de nitrogênio para erva-mate de acordo com o teor de matéria orgânica no solo e expectativa de rendimento da cultura da erva-mate. Para adubação potássica, além da expectativa de rendimento, considera-se também a interpretação do teor de potássio no solo. Já para adubação fosfatada, considera-se apenas a conjuntura do teor de fósforo no solo (Tabela 1).

⁴ Clima sub-tropical, sem estação seca e temperatura do mês mais quente inferior a 22°C

⁵ Clima sub-tropical, sem estação seca e temperatura do mês mais quente superior a 22°C

⁶ Clima tropical de altitude, com inverno seco e temperatura do mês mais quente superior a 22°C

TABELA 1. Recomendação de adubação de reposição de nitrogênio, fósforo e potássio para cultura da erva-mate, adaptado de Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

Teor de MO ⁷ no solo (%)	Reposição de nitrogênio		
	Expectativa de rendimento (t ha ⁻¹) ⁸		
	< 6	6 a 12	> 12
	Kg de N ha ⁻¹		
MO ≤ 2,5	30	60	90
2,6 – 5,0	20	50	60
> 5,0	≤ 20	≤ 30	≤ 50
Interpretação do teor de K no solo	Reposição de potássio		
	Expectativa de rendimento (t ha ⁻¹)		
	< 6	6 a 12	> 12
	Kg de K ₂ O ha ⁻¹		
Muito baixo (≤ 30 mg dm ⁻³)	50	80	100
Baixo (≤ 60 mg dm ⁻³)	40	70	90
Médio (≤ 90 mg dm ⁻³)	30	60	80
Alto (≤ 180 mg dm ⁻³)	20	40	60
Muito alto (> 180 mg dm ⁻³)	≤ 20	≤ 40	≤ 60
Interpretação do teor de P no solo	Reposição de fósforo		
	Kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹		
Muito baixo (≤ 7 mg dm ⁻³)	20		
Baixo (≤ 14 mg dm ⁻³)	20		
Médio (≤ 21 mg dm ⁻³)	20		
Alto (≤ 42 mg dm ⁻³)	20		
Muito alto (> 42 mg dm ⁻³)	20		

⁷ Matéria orgânica

⁸ Massa verde por hectare

2.2 RECICLAGEM AGRÍCOLA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A forma e o ritmo do modo de vida baseado na produção e consumo de bens, torna a geração de resíduos sólidos, parte do cotidiano da sociedade. Segundo Instituto Ambiental do Paraná (2009, p. 22), o segmento de alimentos e bebidas é responsável por 8,29% de todos os resíduos gerados dentro do estado. Em relação à classificação dos resíduos do estado, a indústria de alimentos e bebidas gera 11,19% de todos os resíduos não perigosos e 0,39% dos resíduos perigosos.

Existem diversas formas de classificação dos resíduos sólidos, por exemplo, pela sua natureza física, composição química, periculosidade e quanto a sua origem, sendo que o método de classificação mais utilizado no âmbito industrial é quanto a periculosidade. O objetivo da classificação dos resíduos sólidos é basicamente conhecer as propriedades ou características dos resíduos que possam causar algum dano ao meio ambiente ou ao homem, permitir a tomada de decisão técnica acerca do manejo dos mesmos, e mobilizar a sociedade no controle de resíduos cujo manejo inadequado traga problemas (ROMÉRO; BRUNA e PHILIPPI JR, 2004). Assim, é em função das características do resíduo que se decide pela forma final de destinação do mesmo.

Dentre as diversas alternativas possíveis de destinação de resíduo, encontra-se a reciclagem agrícola, praticada no mundo inteiro principalmente para destinação de biossólidos (BARROS *et al*, 2011). Por exemplo, a aplicação da borra de erva-mate no solo de um erval como condicionador do solo pode contribuir para fechar o ciclo dos nutrientes, e ao mesmo tempo minimizar o problema da disposição final deste resíduo, contudo, alguns cuidados devem ser tomados.

Para aplicação de borra de erva-mate em solo não existe uma norma específica, assim como existe para o lodo de esgoto. De acordo com a Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006, para aplicação de lodo de esgoto no solo, o mesmo deve atender alguns requisitos de qualidade, sendo eles, teor substâncias inorgânicas (arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco), agentes patogênicos e teor de cinzas, sendo que, são estabelecidas também algumas restrições de aplicação do resíduo em função das características da cultura e área de aplicação do resíduo. Estando o resíduo, a cultura e a área aptos a reciclagem agrícola, deve-se respeitar o critério mais limitante para a

determinação da taxa de aplicação. Para tal, o quociente da recomendação de adubação nitrogenada e o teor de nitrogênio disponível no resíduo, ensaio de elevação do pH do solo, e carga de substâncias inorgânicas acumuladas no solo pela aplicação do lodo devam ser observados. Isto posto, o mesmo princípio pode ser aplicado a borra do extrato da erva-mate.

2.3 EFEITO DO USO DE RESIDUO ORGÂNICO SOBRE O SOLO

O efeito dos resíduos orgânicos sobre o solo e planta é complexo à medida que podem interferir nas propriedades biológicas, químicas e físicas. Tanto as características do solo que recebe o resíduo orgânico quanto do próprio resíduo são importante no efeito esperado.

A matéria orgânica exerce profunda influência em quase todas as características do solo (TROEH; THOMPSON, 1993). A matéria orgânica facilita a movimentação de ar e água na zona radicular através da melhoria da granulometria do solo. Quanto maior a concentração de matéria orgânica no solo menor a densidade aparente do solo, conseqüentemente, menor compactação, maior grau de estruturação do solo, melhor aeração, menor dificuldade de penetração da raiz no solo, ou seja, menores restrições ao crescimento da planta (MELLO *et al.*, 1983). Segundo Troeh e Thompson (1993, p. 90), o horizonte A⁹ do solo normalmente apresenta concentração de matéria orgânica entre 1% e 6%.

A matéria orgânica faz com que haja menor perda de cátions por lixiviação, pois apresenta elevada CTC (capacidade de troca catiônica). A matéria orgânica contribui também para o aumento da acidez potencial uma vez que há liberação de H⁺ (MELLO *et al.*, 1983).

A estabilização da matéria orgânica produz diversos ácidos inorgânicos e orgânicos, que por sua vez solubilizam os minerais do solo, aumentando desta forma a disponibilidade de nutrientes às plantas, que anteriormente estavam em formas insolúveis (MELLO *et al.*, 1983). Brondani *et al.*, (2008, p. 270), atribuem esse efeito ao teor de matéria orgânica no solo (em média 43,8 g de C dm⁻³) e as elevadas

⁹ Camada mineral do solo, superficial ou em sequência ao horizonte ou camada O ou H, de concentração de matéria orgânica decomposta e perda ou decomposição, principalmente de componentes minerais.

concentrações de nitrogênio (em média $46,9 \text{ g kg}^{-1}$) encontradas em folhas de erva-mate.

Considera-se que cerca de 35% do C da matéria orgânica, decompõem-se de modo a produzir a matéria orgânica estabilizada do solo, e o restante é liberado na forma de CO_2 . Quanto maior o déficit de nitrogênio no solo, maior a liberação de CO_2 , por isso é importante uma relação C/N adequadamente balanceada (MELLO *et al.*, 1983).

Resíduos orgânicos contendo substâncias mais complexas, como celulose, lignina, e óleos, tendem a ter uma oxidação mais lenta e com isso podem causar melhora na CTC do solo de uma forma prolongada (GLORIA, 1992).

2.4 CONSTITUIÇÃO DO SOLO

Segundo Raij (1991), pode-se considerar que os solos possuem, em geral, uma fração inorgânica ou mineral predominante em relação à fração orgânica. Solos cultivados há algum tempo, raramente apresentam teores de matéria orgânica acima de 5%.

As partículas finas ou coloidais do solo possuem alta capacidade de retenção de cátions (CTC), de água e de adsorção de fósforo, devido a sua alta atividade de superfície. Desta forma, solos arenosos não apresentam estas propriedades com grande intensidade (RAIJ, 1991), sendo que baixos valores de CTC do solo indicam que não se deve realizar adubação em grande quantidade de uma só vez, mas sim parcelado para evitar perdas por lixiviação (MELLO *et al.*, 1983).

A estrutura básica da matéria orgânica presente no solo é constituída por compostos de carbono, contendo oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e fósforo. A relação 100:10:1:2 para C:N:S:P é útil para orientar discussões acerca da disponibilidade das formas orgânicas destes três nutrientes, em matéria orgânica estabilizada, apesar de apresentar apenas números de ordem de grandeza (RAIJ, 1991).

A estrutura do solo é formada pelo conjunto de agregados que se formam. A presença de cátions trocáveis divalentes, cálcio e magnésio, são importantes para a floculação dos coloides do solo. Por outro lado, cátions monovalentes, com destaque

para o sódio, favorecem a dispersão dos coloides, levando a deterioração da estrutura do solo (RAIJ, 1991).

As trocas gasosas entre a atmosfera e o solo se dão através dos poros do solo. A respiração das raízes das plantas depende em grande parte do oxigênio presente no solo, tal dependência também ocorre para os microrganismos. A água contida no solo é a via de transferência de nutrientes para a planta. Há dificuldade da transferência de oxigênio para raízes em solos com excesso de água, conseqüentemente, a oxidação completa de carboidratos é dificultada, ocorrendo então à formação de alcoóis por fermentação e prejuízo ao crescimento vegetal. Assim, a condição anaeróbia favorece microrganismos produtores de substâncias orgânicas tóxicas, além de reduzir manganês e ferro a condições mais solúveis, e promover a desnitrificação (RAIJ, 1991).

2.5 INTERAÇÕES ENTRE NUTRIENTES E SOLO

Segundo Raij (1991), as principais formas iônicas dos principais macronutrientes e outros elementos que ocorrem no solo são as seguintes:

Nitrogênio: NO_3^- , NO_2^- , NH_3^+

Fósforo: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}

Potássio: K^+

Cálcio: Ca^{2+}

Magnésio: Mg^{2+}

Enxofre: SO_4^{2-}

Hidrogênio: H^+

Cloro: Cl^-

Alumínio: Al^{3+} (e suas formas de polímeros)

Sódio: Na^+

A mineralização do nitrogênio é favorecida para baixas relações de C/N da matéria orgânica. A imobilização, por sua vez é favorecida em solos com relação C/N aproximadamente 10 ou superior, ou na incorporação de material orgânico fresco com elevada relação C/N (RAIJ, 1991). Segundo Mello *et al.* (1983, p. 164), materiais com relação C/N acima de 33 permitem a imobilização do nitrogênio e valores abaixo de

17 à mineralização, e relação entre estes dois valores apresentarão imobilização aproximadamente igual a mineralização. De forma geral, pode-se esperar mineralização de nitrogênio quando este estiver presente no meio em concentrações superiores a 2,5%, e imobilização para concentrações inferiores a 1,5%.

O processo de mineralização do nitrogênio também é responsável pela formação de minerais de enxofre e fósforo. O processo de formação de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , é influenciado pelo pH do solo (RAIJ, 1991).

O fósforo inorgânico aparece normalmente ligado ao ferro, alumínio e cálcio, devido à abundância destes no solo, e a baixa solubilidade de seus compostos. Apatita, strengita e variscita são os minerais de fósforo encontrados no solo que apresentam maior importância. A adsorção de fosfatos no solo não tem relação com a CTC. Em solos com pH baixo, há tendência de formação de fosfatos insolúveis de alumínio e ferro, enquanto que em solos alcalinos a tendência é de formação de fosfatos insolúveis de cálcio. Solos argilosos, ricos em ferro e alumínio, apresentam grande capacidade de adsorção de fósforo (RAIJ, 1991).

Os cátions trocáveis são retidos pelo solo normalmente na seguinte ordem: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ (RAIJ, 1991). Solo com valores baixos de soma de bases trocáveis indica deficiência em um ou mais dos três primeiros elementos citados anteriormente (MELLO *et al.*, 1983). Solo com pH alcalino indica a presença de sódio trocável, que pode danificar a estrutura do solo através da dispersão dos colóides (RAIJ, 1991).

O alumínio em solos ácidos apresenta grande solubilidade. Em condições extremas, de solos com ácidos livres, pode ocorrer solubilização considerável de ferro e manganês, além do alumínio. Esses três íons metálicos em quantidades elevadas são tóxicos às plantas (RAIJ, 1991), porém a erva-mate apresenta tolerância ao alumínio e sua presença favorece seu crescimento (BENEDETTI, 2012). Solos com baixa porcentagem de saturação por bases representam predominância de H^+ e Al^{3+} saturando as cargas negativas do solo, ocasionando possivelmente um solo ácido (MELLO *et al.*, 1983).

2.6 NITROGÊNIO

As formas minerais de nitrogênio de maior interesse à nutrição vegetal são amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). O íon amônio, por ser um cátion, permanece adsorvido ao solo devido à carga negativa do solo. O ânion nitrato permanece na solução do solo, desta forma possui grande mobilidade e susceptibilidade à lixiviação. O nitrito é um ânion efêmero no solo devido a sua rápida oxidação a nitrato. Esta oxidação é importante, pois, o nitrito é tóxico às plantas e animais ao ser incorporado como alimento (RAIJ, 1991). Segundo Cantarella, Abreu e Berton (1992, p. 64), o teor de nitrogênio total em solos cultivados normalmente situa-se entre 0,05% e 0,5%, deste total, menos de 5% equivale à concentração de nitrogênio em formas inorgânicas.

A quantidade de nitrogênio mineral em um solo é função da relação C/N do solo e dos resíduos, umidade do solo, do pH do solo e de outros fatores. A relação C/N na faixa de 10 a 12 representa valores favoráveis à mineralização do nitrogênio em amostras superficiais de solos bem drenados (RAIJ, 1991, p. 168). Para Cantarella, Abreu e Berton (1992, p. 68), material orgânico com relação C/N superior a 40 favorece a imobilização do nitrogênio. Resíduos frescos são rapidamente estabilizados em solos bem drenados e não muito ácidos. A imobilização ou liberação do nitrogênio mineral depende basicamente da relação C/N do material (RAIJ, 1991). Segundo Cantarella, Abreu e Berton (1992, p. 79), a taxa de mineralização do nitrogênio em um lodo de esgoto líquido, no primeiro ano, é de 35%.

A concentração de nitrogênio no solo é influenciada também pela temperatura, diminuindo sua ocorrência para temperaturas mais baixas, sendo 25°C a temperatura ideal (MELLO *et al.*, 1983). Ribeiro *et al.* (2008, p.206) observaram que os maiores teores foliares de nitrogênio, na erva mate, ocorreram durante o verão e os menores durante o inverno. A menor concentração média de nitrogênio no tecido foliar foi de 7,1 g kg⁻¹ e a maior 30,0 g kg⁻¹, ambas com a dose de 80 kg N ha⁻¹. Contudo, sugerem que a resposta à adubação é mais intensa durante o inverno. Borsoi e Costa, (2001, p.137) obtiveram concentrações médias de 5,21% de nitrogênio no tecido foliar em uma plantação de erva-mate.

A topografia do terreno exerce influência na presença de nitrogênio no solo, sendo topografias planas mais favoráveis (MELLO *et al.*, 1983). A textura do solo, quanto mais fina maior será a concentração de nitrogênio no solo (RAIJ, 1991).

Souza *et al.* (2008, p.183), observaram em função do tipo de poda da cultura de erva-mate, valores estimados da exportação de nitrogênio de 23,74 kg ha⁻¹ a 79,19 kg ha⁻¹. Plantas amareladas e com crescimento reduzido representam sintomas de deficiência de nitrogênio, sendo que, as folhas mais velhas são mais susceptíveis a clorose (RAIJ, 1991).

O excesso de nitrogênio pode causar prejuízo ao desenvolvimento de raízes ou tubérculos, redução da produção de frutos, susceptibilidade a doenças, entre outros efeitos. Em solos muito ácidos as raízes desenvolvem-se pouco, conseqüentemente a absorção de nutrientes fica prejudicada (RAIJ, 1991). Segundo Delbem *et al.* (2011, p. 366), doses elevadas de nitrogênio na camada 0 a 0,10 m de profundidade, acidificam o solo e reduzem os valores de matéria orgânica, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺.

Pandolfo *et al.* (2003, p. 37) obtiveram em seu experimento de adubação em erva-mate, teores foliares de nitrogênio de 2,41%, na ausência de adubação nitrogenada, até 2,91% na dose máxima de uréia aplicada por planta (125g). O ponto de máxima eficiência técnica obtida foi de 80,5g de nitrogênio por planta, por ano, obtendo 35,6 kg de massa verde por planta. Ribeiro *et al.* (2008, p.205) obtiveram ponto de máxima eficiência técnica de 52,5 kg de N ha⁻¹ em um erval com espaçamento de 3,0 m x 2,5 m, o que corresponde a 39 g planta⁻¹, produzindo 2.547 kg de biomassa por hectare. O aproveitamento do nitrogênio pelas plantas depende também da capacidade de penetração das raízes no subsolo, uma vez que parte do nitrogênio concentra-se abaixo da camada arável. Esta capacidade é reduzida em solo com acidez excessiva ou com deficiência de cálcio nas camadas abaixo da parte arável. Solos ácidos recém calcariados, tendem a uma maior disponibilidade de nitrogênio mineral, devido ao estímulo causado às bactérias através do aumento do pH, além de proporcionar possível aprofundamento do sistema radicular, podendo melhorar o aproveitamento do nitrogênio existente no solo (RAIJ, 1991).

Bellote e Sturion (1985, p. 124) observaram que o crescimento de mudas de erva-mate, expresso em peso de matéria seca, foi mais limitado quando o nitrogênio

foi omitido na solução nutritiva aplicada, com resposta semelhante à da testemunha. Em relação à limitação do crescimento, observaram a seguinte ordem decrescente nitrogênio, cálcio, fósforo, potássio, magnésio, zinco, cobre e ferro.

2.7 FÓSFORO

O fósforo da matéria orgânica está ligado covalentemente à estrutura dos compostos de carbono; desta forma, é indisponível às plantas até que ocorra a decomposição da matéria orgânica (TROEH; THOMPSON, 1993). Neste sentido, Glacomini *et al.* (2003, p. 1102) observaram a liberação de fósforo e potássio de alguns resíduos culturais e notaram que a liberação do fósforo é muito mais lenta do que a do potássio, que ocorre em média 4,5 vezes mais rápida que a liberação do fósforo, isso é atribuído a função estrutural desse elemento (MARSCHNER, 1995).

A relação C:P de 50:1 no solo é um valor de referência para ocorrência de fósforo orgânico (RAIJ, 1991). Na matéria orgânica, vários experimentos indicam que a relação C/P inferior a 200 tende à mineralização do fósforo, e valores acima de 300 tendem à imobilização, sendo que a elevação do pH do solo torna mais rápida a mineralização do fósforo (MELLO *et al.*, 1983).

A disponibilidade e absorção do P é fortemente influenciada pelo pH do solo. A aplicação de matéria orgânica no solo faz com que ocorra a dissolução do fosfato devido à formação de ácido carbônico (MELLO *et al.*, 1983). Neste sentido, alguns experimentos demonstraram que a absorção de H_2PO_4^- foi mais elevada em solos com pH igual ou inferior a 4, o mesmo comportamento ocorreu para NO_3^- (TROEH; THOMPSON, 1993).

Segundo Troeh e Thompson (1993, p.217), o fósforo orgânico pode ser dissolvido em um pH elevado, sendo que, o fósforo predomina na forma H_2PO_4^- em solo ácido e a forma HPO_4^{2-} começa a ocorrer em maior proporção em pH acima de 6 (RAIJ, 1991), sendo que o pH mais favorável à disponibilidade do fósforo está entre neutro e ligeiramente ácido (TROEH; THOMPSON, 1993).

Estudos também apontam correlação positiva do magnésio na absorção de fósforo pelas plantas (MELLO *et al.*, 1983).

Borsoi e Costa, (2001, p.137) obtiveram um teor médio de 3,29 mg l⁻¹ de fósforo no solo de um erval com pH médio do solo de 4,87.

O fosfato deve ser preferencialmente aplicado próximo às raízes devido a sua baixa solubilidade (MELLO *et al.*, 1983, p. 218). Concomitantemente, suas perdas por lixiviação não são consideradas significativas devido à baixa mobilidade deste ânion (MELLO *et al.*, 1983, p. 216; Santos, Santos e Silva, 2013, p. 383). Segundo Bellote e Sturion (1985, p. 125), a velocidade de lixiviação do fósforo em relação ao tempo é bem inferior ao do cálcio, magnésio, sódio ou potássio. Eghball *et al.* (2002, p. 687) relataram alteração nos teores de fósforo na profundidade 0-10 apenas após longo prazo do dia de aplicação de esterco no solo.

Bellote e Sturion (1985, p. 125) observaram que a deficiência de fósforo e potássio não confere à erva-mate sintomas visuais de carência, contudo, afeta significativamente a produção de matéria seca. Por outro lado, o adequado suprimento de fósforo à planta estimula o desenvolvimento radicular, promove boa formação de frutos e sementes e incrementa a produção, enquanto que a deficiência de fósforo retarda o crescimento da planta, e o suprimento excessivo não representa um problema às plantas (RAIJ, 1991).

Reissmann, Radomski e Quadros (1999) observaram que as melhores taxas de crescimento da erva-mate não estão necessariamente correlacionadas com elevadas concentrações de fósforo no solo. Este fato pode ser atribuído a característica de baixas concentrações de fósforo na folha de erva-mate, e bem inferior aos teores de nitrogênio e potássio na folha. Contudo, apesar de ser menos exigido em relação ao nitrogênio e potássio, por exemplo, o fósforo é o elemento que mais limita a produtividade na maioria dos solos (RAIJ, 1991). Segundo Pandolfo *et al.* (2003, p. 37), doses ideais de fósforo são inferiores a 25g de P₂O₅ por erva-mate.

A concentração de fósforo na folha pode decrescer na época de frutificação da erva-mate, conforme observado por Ribeiro *et al.* (2008, p.206), entre as estações de inverno e verão, pois, neste período a demanda por fósforo aumenta. Segundo Troeh e Thompson (1993, p. 220), a taxa de absorção de fósforo pela planta é melhorada com a disponibilidade de nitrogênio.

O tipo de poda da erva-mate influencia a exportação de fósforo, segundo Souza *et al.* (2008, p. 183), os valores estimados de exportação de fósforo vão de 1,02 kg ha⁻¹ a 3,41 kg ha⁻¹.

Pandolfo *et al.* (2003, p. 39) constatou teores de fósforo na folha de 0,13% sem aplicação de P₂O₅, e 0,17% com aplicação de 100 e 125g de P₂O₅ por planta. Borsoi e Costa, (2001, p.137), encontraram concentrações médias de 0,07% de fósforo em folha de um erval de oito anos de idade.

Pandolfo *et al.* (2003, p. 37) relataram em seu estudo sobre a resposta da erva-mate à adubação N, P e K, que não houve resposta significativa da cultura ao fósforo adicionado ao solo.

2.8 POTÁSSIO

O potássio é absorvido pelas plantas na forma iônica de K⁺, disponível na solução do solo (RAIJ, 1991). A maior parcela de potássio da matéria orgânica incorporada ao solo é solúvel ou passa rapidamente para esta forma. A medida que o potássio solúvel é consumido, o potássio trocável o compensa (MELLO *et al.*, 1983).

O húmus pode reter potássio na forma trocável, diminuindo perdas por lixiviação. As demais matérias orgânicas também ajudam a estimular a absorção de potássio devido sua contribuição com umidade, aeração e atividade biológica (MELLO *et al.*, 1983).

A absorção do potássio também é influenciada pelo aumento de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ no solo, pois estes íons favorecem a fixação de potássio, conseqüentemente o potencial de absorção de potássio pelas plantas diminui. Do mesmo modo, geralmente, o aumento do pH diminui a capacidade do solo liberar potássio (MELLO *et al.*, 1983), desta forma, a liberação de potássio em solos ácidos ocorre mais rapidamente em comparação a solos mais próximos a neutralidade (TROEH; THOMPSON, 1993).

Em geral, sais de potássio apresentam grande solubilidade. Assim, os teores de K⁺ no solo podem atingir valores bem elevados (RAIJ, 1991), contudo, elevadas concentrações de potássio no solo podem, dificultar a disponibilidade de cálcio e magnésio (SITA *et al.*, 2005).

Troeh e Thompson (1993, p. 235) descreveram que o potássio é facilmente lixiviado da matéria orgânica morta. A hipótese para este comportamento é que o potássio não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal, e por isso, sua liberação ocorre mais rapidamente (MARSCHNER, 1995). Corroborando com o exposto, Giulian *et al.* (2007, p.741) observaram que a folha de erva-mate perde cerca de 90% de potássio após a infusão.

O potássio não se acumula tanto no solo como o fósforo, principalmente em condições de baixa CTC (RAIJ, 1991). Desta forma, pode ser mais interessante à aplicação de potássio em baixas quantidades e com maior frequência (MELLO *et al.*, 1983). Por outro lado, segundo Troeh e Thompson (1993, p. 239), as perdas de potássio por lixiviação ocorrem de forma lenta e as variações de concentração entre os horizontes A, B¹⁰ e C¹¹ não são grandes (TROEH E THOMPSON, 1993).

A absorção do potássio pelas plantas é mais fácil devido a sua mobilidade no solo (RAIJ, 1991), sendo que o mecanismo de contato com a raiz, para absorção deste elemento, dá-se principalmente através da difusão (MELLO *et al.*, 1983), desta forma, a absorção de potássio por parte da planta é dificultada em solos com baixo teor de umidade (RAIJ, 1991).

Deficiência na aeração da região das raízes também prejudica a absorção de potássio pela planta. Desta forma, solos arenosos, por exemplo, fornecem condições favoráveis à absorção de potássio devido a certas características, como boa aeração e drenagem (MELLO *et al.*, 1983).

A absorção de potássio dá-se principalmente durante o crescimento vegetativo, e representa um dos mais importantes cátions da fisiologia vegetal. Em geral, o teor de potássio nas plantas é apenas inferior ao de nitrogênio (RAIJ, 1991).

O teor de potássio nas plantas varia aproximadamente de 0,5% a 6% (MELLO *et al.*, 1983). Segundo Marschner (1995, p. 310), a necessidade de potássio para um

¹⁰ Horizonte mineral formado sob um E, A ou H, comparativamente bastante afetado por transformações pedogenéticas, em que pouco ou nada resta da estrutura original da rocha (PRADO, 1996).

¹¹ Horizonte ou camada mineral de material inconsolidado sob o solo, relativamente pouco afetada por processos pedogenéticos, a partir do qual, o solo pode ou não ter se formado, sem ou com pouca expressão de propriedades identificadoras de qualquer outro horizonte principal (PRADO, 1996).

bom crescimento das plantas, gira em torno de 2 a 5% da produção de matéria seca das partes vegetais.

Pandolfo *et al.* (2003, p. 39) obtiveram teor foliar de 0,8% de potássio na erva-mate na ausência de adubação potássica e 1,92% com aplicação de 125g de K_2O por planta. O ponto de máxima eficiência técnica (PMET) foi de 75,6 a 78,7 g de K_2O por planta, quando o teor de potássio no solo era inferior a 120 mg l^{-1} . Para teores acima de 120 mg l^{-1} de potássio no solo, a aplicação de 25 g de K_2O por planta é suficiente para atingir produção de massa verde obtida com o PMET citado anteriormente.

Borsoi e Costa (2001, p.138) encontraram concentrações médias de 1,72% de potássio no tecido foliar de uma plantação de erva-mate. Souza *et al.* (2008, p.183) observaram valores estimados da exportação de potássio de $18,96 \text{ kg ha}^{-1}$ a $63,24 \text{ kg ha}^{-1}$ em função do tipo de poda da cultura de erva-mate.

Na planta, o potássio é extremamente móvel. Os sinais de deficiência de potássio não são muito visíveis e nem imediatos. Clorose e necrose nas plantas, por exemplo, ocorrem apenas em casos de extrema deficiência. Redução da turgidez a flacidez da folha também podem ocorrer (RAIJ, 1991).

2.9 MACRONUTRIENTES SECUNDÁRIOS

2.9.1 Cálcio

Geralmente o teor de cálcio em solos não calcários varia entre 0,1% e 2%, sendo que solos arenosos e ácidos são geralmente pobres em cálcio (MELLO *et al.*, 1983). Segundo Raij (1991, p. 220), solos não calcados e bem drenados apresentam teor de cálcio trocável bem superior ao de magnésio trocável, pois, o cálcio, por ser um íon hidratado e de menor diâmetro, fica retido no solo com maior facilidade. Segundo Troeh e Thompson (1993, p. 256), o fornecimento de cálcio em solos ácidos é menor do que em solo alcalino e solos com baixa CTC tendem a apresentar concentrações muito baixas de cálcio.

Em solo muito alcalino, o cálcio tende a aparecer predominantemente em forma insolúvel (MELLO *et al.*, 1983). Em solo menos ácido, o cálcio pode se solubilizar como carbonatos, fosfatos ou sulfatos (RAIJ, 1991). Alguns tipos de mineral

de cálcio, como calcita e gipsita, possuem solubilidade muito baixa (TROEH E THOMPSON, 1993).

Alguns experimentos utilizando resíduo para aplicação em solo apresentam influência positiva no teor de cálcio do solo, Corrêa *et al.* (2009, p. 267) observaram aumento do teor de cálcio no solo após aplicação superficial de resíduo (lama cal, lodo de esgoto e escória de aciaria) na dose 2 ton ha⁻¹, tais resíduos continham entre 23% e 37% de cálcio. Nobile *et al.* (2012, p. 119), após aplicação de resíduos de processamento de bauxita, dejetos suíno e composto orgânico, obtiveram concentrações elevadas de cálcio no solo, com médias de 13,33, 16,66 e 16 mmol_c dm⁻³, respectivamente.

Segundo Mello *et al.* (1983, p. 274), o cálcio é absorvido pelas plantas na forma Ca²⁺, principalmente da solução do solo. Pandolfo *et al.* (2003, p.40) atribuem a ocorrência dos maiores teores foliares de cálcio em erva-mate devido a ausência da adubação potássica; o que é atribuído a competição do potássio com o cálcio. Segundo Troeh e Thompson (1993, p. 256), o cálcio normalmente é abundante nas folhas.

Em solos ácidos e sob clima úmido, o cálcio se perde em parte por lixiviação (RAIJ, 1991). Devido a esta lixiviação, o íon Ca²⁺ passa a ser substituído pelo íon H⁺ sobre as partículas coloidais; conseqüentemente, o solo se torna cada vez mais ácido, e ainda com esta substituição, as argilas apresentam-se menor capacidade de retenção de cátions e o alumínio passa a se comportar como cátion trocável (MELLO *et al.*, 1983).

As perdas de cálcio variam consideravelmente de um ano para outro, e sempre seguem, para valores absolutos, a ordem cálcio>magnésio>potássio (TROEH E THOMPSON, 1993). Outras formas de remoção de cálcio são causadas pela erosão e colheita (MELLO *et al.*, 1983).

Segundo Raji (1991), a deficiência de cálcio no solo impede o crescimento das raízes, causa prejuízo para extremidades e folhas novas, tornando as folhas deformadas e cloróticas.

Bellote e Sturion (1985, p. 125), observaram que a deficiência de cálcio, provocou o aparecimento de manchas necróticas arredondada e preta nas margens de folhas de erva-mate, com talo marrom claro e amarelado contornando. Esta

necrose em fase mais avançada se alastra à nervura principal, causando a queda da folha.

2.9.2 Magnésio

Mello *et al.* (1983, p. 293) citam que o magnésio é normalmente o terceiro cátion em abundância em solos ácidos, inferior apenas ao hidrogênio e cálcio. Diferente do cálcio e similar ao potássio, o magnésio em forma não trocável pode converter-se em trocável. Em geral, os teores foliares de magnésio são da ordem de 0,2% a 0,4% da matéria seca (RAIJ, 1991). Pandolfo *et al.* (2003, p.40) atribuíram a ocorrência dos maiores teores foliares de magnésio em erva-mate à ausência da adubação potássica, devido a competitividade do potássio com o magnésio.

O magnésio é móvel na planta e sua deficiência causa a clorose internerval, com as nervuras permanecendo verde (RAIJ, 1991). Giulian *et al.* (2007, p.741) observaram que a folha de erva-mate perde cerca de 50% de magnésio após a infusão.

Umidade inadequada afeta a disponibilidade do magnésio às plantas. A liberação do magnésio é acelerada pela incorporação de matéria orgânica ao solo (MELLO *et al.*, 1983).

Nobile *et al.* (2012, p. 119) observaram concentrações de magnésio no solo da ordem de 5,16 e 4,66 mmol_c dm⁻³ após aplicação de dejetos suíno e composto de lixo, respectivamente.

As perdas de magnésio podem ocorrer por lixiviação, erosão ou colheita (MELLO *et al.*, 1983). As perdas de cálcio e magnésio dos solos por lixiviação constituem a principal causa da acidificação dos solos (RAIJ, 1991). Segundo Mello *et al.* (1983, p. 299), quanto maior for o incremento de sais ao solo através de adubos ou condicionador de solos, maior será a quantidade de magnésio deslocado às camadas mais profundas do solo, o que pode explicar a deficiência deste elemento.

Solos arenosos, ácidos, com precipitação moderada ou alta, normalmente apresentam carência em magnésio. Pesquisas indicam que o K⁺ prejudica a absorção de Mg²⁺. O cálcio também prejudica a absorção do magnésio, e quanto maior a relação Ca/Mg, maior a susceptibilidade à deficiência de magnésio. Elevadas

concentrações de NH_4^+ são prejudiciais à absorção de magnésio, por outro lado, o N-NO_3^- favorece a absorção de magnésio, devido ao estímulo do desenvolvimento radicular. Por ação antagônica, pode haver dificuldade na absorção de magnésio em solo muito ácido e com excesso de Fe^{2+} , Al^{3+} e Mn^{2+} . Em solos com pH elevado, o solo possivelmente apresentará deficiência ao magnésio devido a concorrência do Ca^{2+} e Na^+ (MELLO *et al.*, 1983).

Bellote e Sturion (1985, p. 125) observaram que a deficiência de magnésio, desenvolve, manchas cloróticas na região do limbo foliar na erva-mate ainda em fase inicial. Em estágio mais avançado, esta clorose se transformou em manchas necróticas, propagando-se para o pecíolo, o que ocasiona a queda da folha.

2.10 ACIDEZ E CALAGEM

O controle da acidez é importante para a fisiologia da planta, pois, conforme dito alguns elementos como alumínio, ferro e manganês, em solos com acidez excessiva podem ser tóxicos (RAIJ, 1991). Reissmann e Carneiro (2004, p.383) observaram que a erva-mate demonstra possível caráter calcífugo. Observaram ainda que o efeito residual da calagem em erva-mate após um período de oito anos não exerce influência significativa nos teores foliares de cálcio, potássio, magnésio, ferro, manganês, cobre, e zinco, bem como, na biomassa produzida.

A acidificação dos solos consiste predominantemente na retenção excessiva no solo de alumínio trocável e hidrogênio não dissociado, ao invés de cátions básicos (p. ex. cálcio, magnésio, potássio e sódio). Desta forma, solos ácidos tendem a ser pobres em cátions básicos, ou seja, o pH é um reflexo do conteúdo de bases na CTC (BOAS PRÁTICAS PARA O USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES, 2010).

A acidificação do solo ocorre naturalmente. Por exemplo, os processos de nitrificação e de mineralização da matéria orgânica promovem a acidificação do solo (RAIJ, 1991). Em solos não revolvidos e com deposição de resíduos culturais, a acidez do solo tende a aumentar com a profundidade, pois as bases contidas nos resíduos se acumulam nas camadas mais superficiais do solo (PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009).

A liberação de nitrato pode explicar a redução do pH, pois ele carrega o potássio e o magnésio com a sua percolação no perfil do solo, os íons H^+ permanecem e fazem com que as camadas superficiais se acidifiquem (BOHNEN *et al.*, 2000).

A aplicação de resíduos em solo agrícola pode em algumas situações reduzir o pH do solo, como observado por Ribeiro *et al.* (2007, p. 942), que após aplicação de resíduo da indústria de caulim, observaram redução de pH do solo em 0,6 unidades.

Por último, a alcalinidade do solo geralmente está associada a elevadas concentrações de sódio ao invés de cálcio.

2.11 ELETROCONDUTIVIDADE DO SOLO

A análise da eletrocondutividade do solo tem sido amplamente empregada para avaliar algumas características do solo, por exemplo, salinidade, nutrientes, textura, densidade e outras.

A salinidade do solo está relacionada à presença de grandes teores de solutos inorgânicos dissolvidos na fase aquosa do solo. Eles são sais solúveis e facilmente solubilizáveis, incluindo espécies iônicas; por exemplo, Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{-2} e CO_3^{-2} .

A salinidade inadequada do solo pode causar redução do crescimento e rendimento da planta (CORWIN, 2005).

Killi e Kavdir (2008, p. 2326) aplicaram bagaço de azeitona no solo. Este resíduo possuía eletrocondutividade de $591 \mu S cm^{-1}$. Assim, foi observado um aumento da eletrocondutividade à medida que se aumentava a dose de resíduo. A eletrocondutividade do solo ficou entre 110 e $175 \mu S cm^{-1}$, valores estes bem inferiores aos limite para salinidade que equivale a $4.000 \mu S cm^{-1}$. Segundo Saidelles; Reinert e Salet (2003, p.22), o efeito salino do solo pode prejudicar o crescimento das plantas de erva-mate, e reduz a capacidade das plantas em absorver água (MUNNS, 2002)

Segundo Eigenberg *et al.* (2002, p. 185), a eletrocondutividade do solo pode ser usada como um indicador do nitrogênio disponível no solo, quanto maior seu valor, maior será o teor de nitrogênio disponível.

2.12 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

A absorção de nutrientes pode ser influenciada por uma diversidade de fatores. Alguns nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, são mais móveis em plantas jovens. Por outro lado, elementos como cálcio, manganês, ferro e boro, tendem a aparecer em maiores concentrações em plantas mais velhas. A ocorrência de moléstias ou pragas pode, por exemplo, prejudicar um sistema radicular. A interação entre os nutrientes (antagonismo e sinergismo) também influenciam em sua absorção (RAIJ, 1991).

A idade da planta e o respectivo sistema de manejo empregado exercem forte influência na erva-mate principalmente sobre as concentrações foliares de fósforo, ferro, manganês, cobre, boro, zinco e alumínio. Elevadas concentrações de alumínio e manganês são característicos da erva mate, assim como baixas relações de Fe/Mn (REISSMANN; RADOMSKI; QUADROS, 1999). Portanto, todos os estudos de uso de resíduo como fonte de componentes nutricionais devem ser feita com cuidado para a variabilidade fisiológica dos vegetais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A borra de erva-mate foi aplicada no solo do erval em agosto de 2012, o qual se localiza no segundo planalto paranaense, entre as coordenadas 7.187.704,000 N; 543.377,000 E, e 7.188.261,000 N; 544.275,000 E, no município de Fernandes Pinheiro, Paraná, Brasil. A formação geológica da região é a Rio Bonito e o solo é naturalmente pobre e ácido. O clima da região é do tipo Cfb (temperado quente, sem estação seca, com verão ameno – temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C), segundo classificação climática de Koppen. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, álico, textura média (23% a 37% de areia) e o relevo é suave ondulado. Para caracterização da fertilidade do solo antes da aplicação do resíduo, amostras de solo de cada bloco foram compostas por vinte e cinco subamostras coletadas entre as linhas de plantio, a uma profundidade de 0-10 cm, através de um trado Holandês.

O erval que recebeu os tratamentos foi implantado a pleno sol em 1985, empregando o espaçamento de 3 m x 1,5 m (entrelinhas, entre plantas), e possui uma produção de aproximadamente 8264 kg ha⁻¹ de massa verde e 2754 kg ha⁻¹ de massa seca, por ano. O experimento foi implantando cerca de 30 dias após colheita do erval (outubro de 2012), que ocorre bienalmente. Para o controle de plantas daninhas, utilizou-se roçadeira em toda área experimental.

Para caracterização do solo antes da aplicação da borra de erva-mate, foram analisados pH, Al⁺³, H⁺+Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺², K⁺², soma de bases, CTC (Capacidade de Troca Catiônica), fósforo, carbono, saturação por bases e saturação por alumínio no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, seguindo metodologias descritas por PAVAN *et al.* (1992).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE

Os tratamentos do solo do erval constituem em adicionar diferentes doses do resíduo de borra de erva-mate. Essa borra é um subproduto do processo de extração de erva-mate (FIGURA 1), o qual é precedido pelo cancheamento. Este processo tem início no sapeco, que deve ser iniciado no máximo 24 horas após a colheita de ramos e folhas. O sapeco é a operação em que o material colhido recebe um choque térmico

em um longo cilindro, com o objetivo de inativar enzimas oxidantes. Após o sapeco, o material segue para a secagem, que se inicia com a trituração da erva-mate e posterior retirada de umidade através de secadores com elevadas temperaturas (cerca de 300°C). Depois do sapeco e secagem, o material segue para moagem, sendo que o resultado dessa operação é a erva-mate cancheada.

Após o cancheamento, os fragmentos da erva-mate cancheada é peneirada para separar os talos e os fragmentos de folha em sub-grupos de diferentes tamanhos. A seguir, os fragmentos das folhas com tamanho adequado ao produto são tostadas e seguem para a operação de extração (FIGURA 1). Os fragmentos de folhas tostadas são alimentados até atingir a capacidade volumétrica operacional do percolador, o qual é fechado hermeticamente. Vapor e água quente são introduzidos no percolador durante um período específico, após o qual, obtém-se o líquido percolado e as folhas úmidas, que são o extrato de erva-mate e o resíduo sólido (FIGURA 2), ou também denominado borra de erva-mate, respectivamente. O extrato obtido segue para a operação de envase. A indústria que forneceu o resíduo para o experimento gerava em média 313 toneladas deste resíduo por mês.

Para caracterização agrônômica do resíduo (FIGURA 2), análises foram realizadas no Departamento de Ciência do Solo da ESALQ em agosto de 2012 seguindo metodologias descritas no manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e condicionador do solo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2013).

A classificação da borra de erva-mate quanto a sua periculosidade foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 10004:2004 (2004).

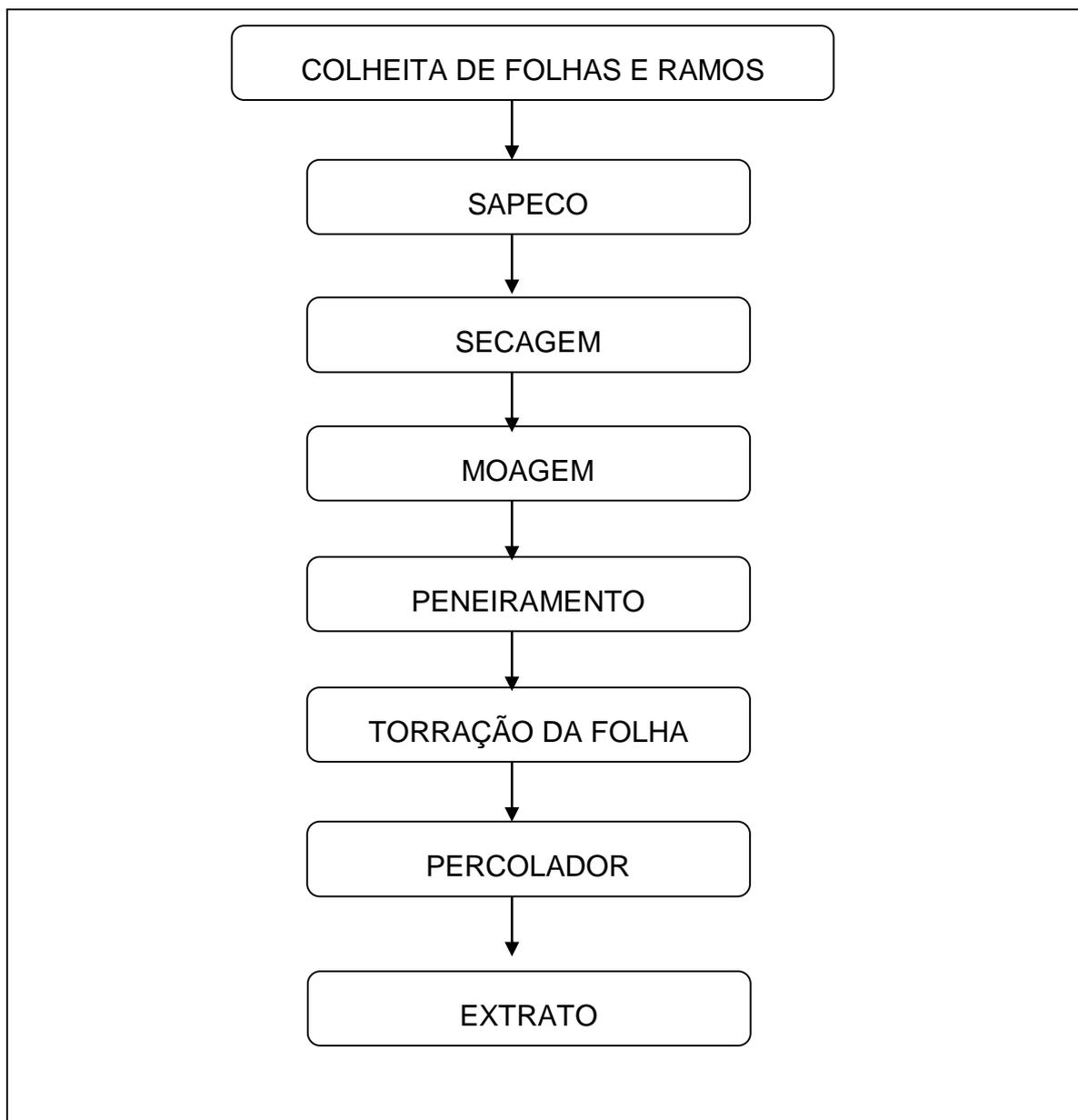


FIGURA 1. Fluxograma resumido do processo industrial de produção de extrato bruto de erva-mate e cogeração da borra.



FIGURA 2. Resíduo ou borra de erva-mate utilizado para aplicação no solo

3.3 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram aplicados aleatoriamente em cada uma das parcelas. As parcelas experimentais são quadrados medindo 10 metros de lado, com 3 metros de bordadura entre eles (FIGURA 3). As parcelas possuem em média 20 ervaíras.

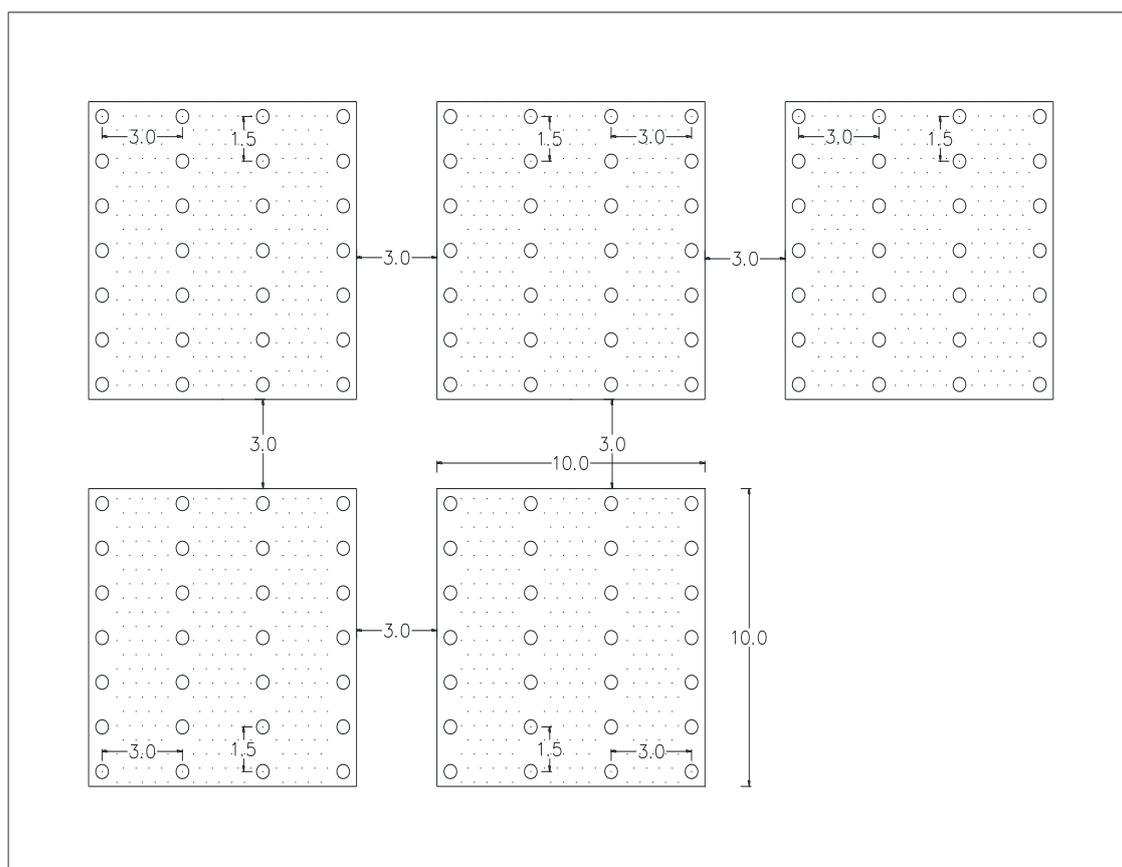


FIGURA 3. Croqui de um bloco experimental, contendo, cinco parcelas cada uma com um tratamento, e distâncias em metros.

Os resultados experimentais foram avaliados por meio do teste F, com médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para predição, realizou-se análise de regressão simples para seleção de modelo significativo, de maior ordem e com maior coeficiente de determinação. Também foi realizada correlação múltipla entre as características. As análises foram realizadas através do programa ASSISTAT 7.6 beta.

3.4 DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os tratamentos foram estabelecidos com o objetivo de avaliar a influência da utilização do resíduo de borra de erva-mate sobre a fertilidade do solo da área experimental e nutrição foliar das erveiras selecionadas. Assim, quatro doses de borra de erva-mate e uma testemunha foram definidas em relação à necessidade de nitrogênio segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004), segundo a lógica:

- 1) Baseado nos valores de caracterização do solo da área experimental (Tabela 3), e da borra de erva-mate (Tabela 4), procederam-se os cálculos para recomendação de adubação nitrogenada de reposição, conforme os seguintes passos: Cálculo do teor de matéria orgânica no solo, a partir da quantidade de C, obtida na caracterização do solo, aplicando a equação $\% C \times 1,72 = \% M.O$, conforme Raij (1991). De acordo com a Tabela 3, o solo dos blocos possuía em média 1,61% de carbono, aplicando a fórmula acima, obteve-se em média 2,76% de matéria orgânica no solo.
- 2) A determinação da recomendação de adubação nitrogenada de reposição, segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004), para solos com matéria orgânica entre 2,6% e 5%, e expectativa de rendimento acima de 12 ton de erva-mate ha⁻¹ (massa verde) recomenda aplicação de 60 kg de nitrogênio ha⁻¹.
- 3) Determinação do teor de nitrogênio disponível na borra de erva-mate. A borra de erva-mate na umidade natural (Tabela 4) possuía 0,85% de nitrogênio, considerando uma fração de mineralização do nitrogênio de 25% do contido no resíduo, logo, a concentração de nitrogênio disponível contido no resíduo era de 0,21%.
- 4) Determinação da dose de borra de erva-mate a ser aplicada para atender a 100% da recomendação de adubação nitrogenada de reposição. O quociente entre a recomendação de 60 kg de nitrogênio ha⁻¹ e a concentração de nitrogênio disponível a partir do resíduo (0,21%) correspondia uma quantidade de borra de 28.200 kg de borra ha⁻¹ a ser aplicada no solo.

Os tratamentos realizados correspondiam a 50%, 100%, 200% e 300% da recomendação de adubação nitrogenada de acordo com a Comissão de Química e

Fertilidade do Solo – RS/SC (2004) e testemunha (ou grupo controle). Assim, a quantidade de resíduo de borra de erva-mate aplicada no solo, por tipo de tratamento, variou de 0 a 84.600 kg ha⁻¹ (Tabela 2).

TABELA 2. Descrição dos tratamentos utilizando o resíduo industrial borra de erva-mate, para aplicação em solo de erval.

Tratamento	Quantidade de borra de erva-mate
T1 – testemunha	0 kg ha ⁻¹
T2 – equivalente a 50% de N, 70% P ₂ O ₅ , 31% K ₂ O	14.100 kg ha ⁻¹
T3 – equivalente a 100 % de N, 140% P ₂ O ₅ , 62% K ₂ O	28.200 kg ha ⁻¹
T4 – equivalente a 200% de N, 280% P ₂ O ₅ , 124% K ₂ O	56.400 kg ha ⁻¹
T5 – equivalente a 300% de N, 420% P ₂ O ₅ , 186% K ₂ O	84.600 kg ha ⁻¹

Considerando que o erval em questão possuía produtividade de 8.264 kg de massa verde ha⁻¹, todas as doses de resíduo retornam ao solo do erval, através da borra de erva-mate, de 113% a 676% desta produção de massa verde.

Após definição dos tratamentos, o resíduo foi pesado, aplicado e espalhado superficialmente na entrelinha, distante por aproximadamente 20 cm da linha de plantio, de forma manual com o auxílio de baldes de 20 litros.

3.5 CARACTERÍSTICAS RESPOSTA

Os diversos parâmetros analisados para avaliar o efeito da borra de erva-mate sobre a fertilidade do solo foram:

- pH, pelo método CaCl₂ à 0,01 mol l⁻¹;
- pH, pelo método da solução tamponada SMP;
- fósforo, pelo método de solução extratora Mehlich – 1;
- potássio, pelo método de solução extratora Mehlich - 1;
- sódio, pelo método de solução extratora de Mehlich -1;
- cálcio, pelo método de KCl;
- magnésio, pelo método de KCl;
- alumínio, pelo método de KCl; e
- eletrocondutividade, relação solo:água de 1:2

As alterações dos parâmetros do solo foram avaliados mensalmente, entre 60 (outubro de 2012) e 210 dias após aplicação do resíduo no solo (março de 2013) para duas camadas de profundidades, 0-10 cm e 10-20 cm.

Com o objetivo de avaliar o efeito da borra de erva-mate sobre a nutrição foliar, os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram avaliados de acordo com as metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Esses elementos foram avaliados apenas aos 210 dias após aplicação do resíduo (março de 2013).

- nitrogênio, titulometria com H_2SO_4 ;
- fósforo, digestão nítrico-perclórica e determinação por colorimetria;
- potássio, digestão nítrico-perclórica e determinação por espectrofotometria de absorção atômica;
- cálcio, digestão nítrico-perclórica e determinação por espectrofotometria de absorção atômica; e
- magnésio, digestão nítrico-perclórica e determinação por espectrofotometria de absorção atômica.

Para avaliação do efeito dos tratamentos na produção de massa seca das erveiras, seis erveiras centrais de cada parcela foram selecionadas e foram retiradas quatorze folhas por erva dos terços inferior, médio e superior (FIGURA 4) totalizando 84 folhas por parcela. Após a secagem das folhas em estufa com circulação forçada de ar com temperatura à $70^{\circ}C$, a pesagem da massa seca de um conjunto de dez folhas por parcela foi feita para verificar a possível variação em função da aplicação das doses crescentes de resíduo de borra de erva-mate no solo.

Para avaliação da influência das doses no crescimento dos ramos, doze ramos de seis erveiras centrais de cada parcela foram coletados para determinar o comprimento do mesmo em linha reta.

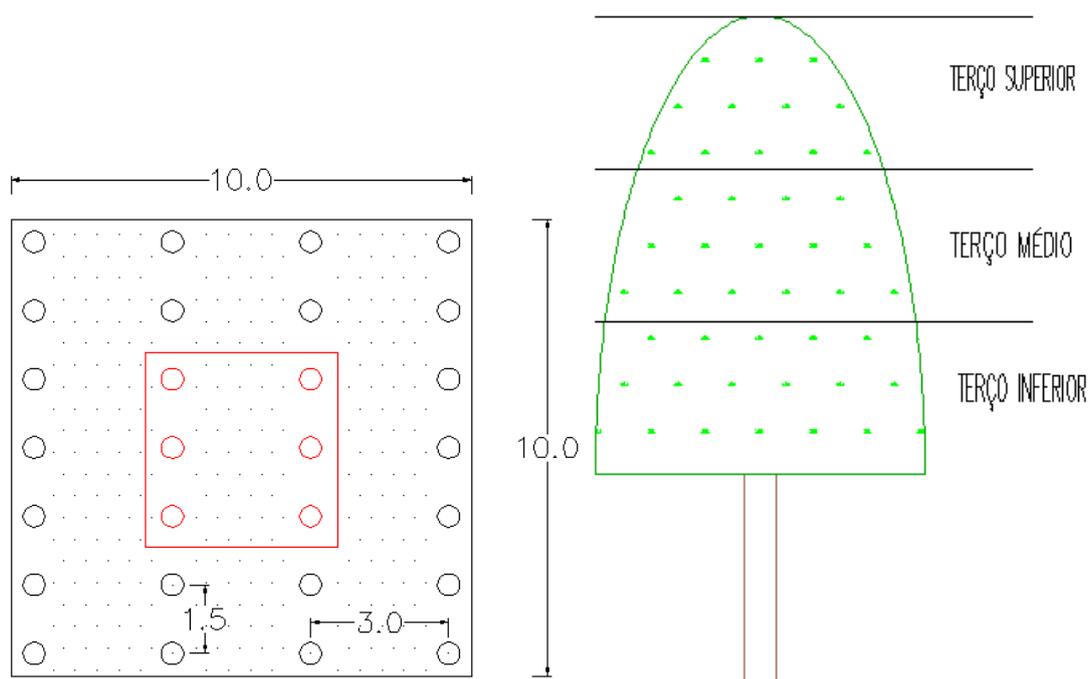


FIGURA 4. Esquema das erveiras selecionadas (em vermelho) e dos terços cujas folhas foram colhidas para análise foliar, medição de massa seca e tamanho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DO ERVAL ANTES DA APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE

De acordo com as tabelas de interpretação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (Tabela 1) – RS/SC (2004), todos os blocos apresentavam solo com teor de fósforo muito baixo¹², baixa¹³ concentração de cálcio, pH muito baixo¹⁴, baixa¹⁵ saturação por bases, alta¹⁶ saturação por alumínio, média¹⁷ capacidade de troca catiônica no bloco IV e alta capacidade de troca catiônica nos demais blocos, potássio baixo¹⁸ nos blocos I a IV e médio no bloco V, baixa¹⁹ concentração de

¹² Concentração de fósforo inferior a 7 mg dm^{-3} é considerada muito baixa.

¹³ Concentração de cálcio inferior a $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerada baixa.

¹⁴ pH abaixo de 5 é considerado muito baixo.

¹⁵ Saturação por bases abaixo de 45% é considerada muito baixo.

¹⁶ Saturação por alumínio acima de 20% é considerado alto.

¹⁷ CTC entre $5,1$ e $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerada média, e alta acima de $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

¹⁸ Concentração de potássio entre $0,05$ e $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerada baixa, e de $0,16$ a $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerada média.

¹⁹ Concentração de magnésio até $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerada baixa e acima de $0,5$ até $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerada média.

magnésio nos blocos I, II e III, e média concentração de Magnésio nos blocos IV e V (Tabela 3). Ainda, pode ser afirmado que o teor de matéria orgânica do solo era médio.

TABELA 3. Caracterização do solo do erval antes da aplicação do resíduo borra de erva-mate no solo.

DETERMINAÇÕES [#]	UNIDADE	BLOCO EXPERIMENTAL				
		I	II	III	IV	V
pH em CaCl ₂ 0,01 M	-	3,90	3,90	3,90	4,00	4,00
pH SMP	-	4,30	4,40	4,20	4,90	4,60
Al ³⁺	cmol _c /dm ³	4,30	3,90	5,00	2,50	3,20
H ⁺ + Al ³⁺	cmol _c /dm ³	17,60	16,30	19,00	11,30	14,10
Ca ²⁺	cmol _c /dm ³	0,70	0,60	0,50	0,70	0,90
Mg ²⁺	cmol _c /dm ³	0,30	0,50	0,10	0,60	0,80
K ⁺	cmol _c /dm ³	0,09	0,09	0,09	0,06	0,17
Soma de bases	cmol _c /dm ³	1,09	1,19	0,69	1,36	1,87
CTC (capacidade de troca catiônica)	cmol _c /dm ³	18,69	17,49	19,69	12,66	15,97
P	mg/dm ³	1,00	2,20	2,20	1,70	3,00
C	g/dm ³	14,30	17,20	15,30	15,30	18,20
V (saturação por bases)	%	6	7	4	11	12
m (saturação por alumínio)	%	80	77	88	65	63
Ca/Mg	-	2,33	1,20	5,00	1,17	1,13

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE

O resíduo de borra de erva-mate utilizado para aplicação no solo do erval foi classificado como resíduo classe II A – não inerte²⁰. O pH do resíduo é ligeiramente ácido (Tabela 4). O carbono foi o elemento químico presente em maior quantidade na borra de erva-mate. A relação C/P do resíduo foi inferior a 200, o que favorece a

²⁰ Um resíduo é classificado como classe II A quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelo anexo G da ABNT NBR 10.004 (2004).

mineralização do fósforo segundo Raij (1991). A relação C/N foi inferior a 40, portanto é favorável à mineralização do nitrogênio (KILLI e KAVDIR, 2008).

TABELA 4. Caracterização do resíduo borra de erva-mate aplicada ao solo.

DETERMINAÇÕES	UMIDADE NATURAL	BASE SECA	
		60-65°C	110 °C
pH em CaCl ₂ 0,01 M	6,0		
Densidade (g/cm ³)	0,53		
Umidade perdida a 60-65°C (%)	64,49		
Umidade perdida a 65-110°C (%)	1,54		
Umidade total (%)	66,03		
Inertes	0	0	0
Matéria orgânica total (combustão) (%)	32,34	91,07	95,20
Matéria orgânica compostável (%)	26,08	73,44	76,77
Matéria org. resistente à compost. (%)	6,26	17,63	18,43
Carbono total (orgânico e mineral) (%)	17,97	50,61	52,90
Carbono orgânico (%)	14,49	40,81	42,66
Resíduo mineral total (%)	1,63	4,59	4,80
Resíduo mineral insolúvel (%)	0,27	0,76	0,79
Resíduo mineral solúvel (%)	1,36	3,83	4,00
Nitrogênio total (%)	0,85	2,39	2,50
Fósforo (P ₂ O ₅) total (%)	0,10	0,28	0,29
Potássio (K ₂ O) total (%)	0,22	0,62	0,65
Cálcio (Ca) total (%)	0,54	1,52	1,59
Magnésio (Magnésio) total (%)	0,17	0,48	0,50
Enxofre (S) total (%)	0,06	0,17	0,18
Relação C/N (C e N total)	21/1	21/1	21/1
Relação C/N (C e N orgânico)	17/1	17/1	17/1
Cobre (Cu) total (mg kg ⁻¹)	5	14	15
Manganês (Mn) total (mg kg ⁻¹)	587	1653	1728
Zinco (Zn) total (mg kg ⁻¹)	49	138	144
Ferro (Fe) total (mg kg ⁻¹)	179	504	527
Boro (B) total (mg kg ⁻¹)	11	31	32
Sódio (Na) total (mg kg ⁻¹)	181	510	533

O resíduo borra de erva-mate possuía concentração de nitrogênio, fósforo, cálcio, zinco, ferro, cobre, sódio e manganês (Tabela 5) superior ao encontrado na folha de erva-mate por Valduga (1997) e/ou Pagliosa (2009). O teor de magnésio na borra de erva-mate estava entre os valores relatados por Valduga (1997) e Pagliosa (2009), enquanto que o teor de potássio da borra de erva-mate foi inferior ao descrito por ambos. O fato do resíduo borra de erva-mate ser resultado de um processo de extração, justifica as menores concentrações de potássio e magnésio. Ambos são solúveis e de tal forma são lixiviados da folha em 90% e 50% após a infusão, respectivamente, segundo Giulian *et. al.* (2007).

TABELA 5. Concentração de componentes minerais obtidos na borra de erva-mate e na folha de erva-mate em outros estudos.

AUTOR/RESÍDUO	N	P	K	Mg	Ca	Zn	Fe	Cu	Na	Mn
	(%)					mg kg ⁻¹				
Pagliosa (2009, p.76)*	-	-	1,21	-	0,75	30,1	19,8	9,5	92,3	192,9
Valduga <i>et al.</i> (1997, p.33)**	2,74	0,12	0,83	0,28	0,89	-	-	-	-	-
	2,04	0,11	0,80	0,91	1,10	-	-	-	-	-
Borra de erva-mate	3,50	0,29***	0,65****	0,5	1,59	144	527	15	533	1.728

* Análise da composição química de resíduos de folhas de erva-mate de um erval de vinte anos de idade, em base seca. ** Análises da composição química de folhas de erva-mate de um erval de oito anos de idade, localizados em União da Vitória e Paula Freitas, em base seca. *** P₂O₅. ****K₂O.

Comparando algumas características da borra de erva-mate com outros resíduos orgânicos (Tabela 6), revelou que o teor de carbono na borra foi superior a todos os resíduos em comparação (feno de alfalfa, palha de aveia e lodo de esgoto). O nitrogênio da borra foi superior ao de esterco de gado, dejetos líquidos de suíno, palha de aveia, feno de alfalfa e lodo de esgoto (Tabela 6).

A concentração de potássio e magnésio na borra de erva-mate foi superior a do lodo de esgoto (Tabela 6). A concentração de fósforo na borra de erva-mate foi semelhante a do dejetos líquidos de suíno, e de cálcio semelhante ao encontrado no vermicomposto de esterco bovino (Tabela 6). O esterco de galinha possui concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio bem superiores aos da borra de erva-mate (Tabela 6). Contudo, a borra de erva-mate revelou ser um resíduo pobre em nutrientes. Essa característica pode ser atribuída à baixa fertilidade do solo, resultando em tecido vegetal com baixos teores de nutrientes e o processo de lavagem a que foi submetido o tecido vegetal.

TABELA 6. Análise química de outros resíduos orgânicos.

Elemento	Esterco de galinha (MF) *	Esterco de gado (MF) *	Dejeto líquido de suíno (MF) *	Vermicomposto de esterco bovino (MF) **	Feno de alfalfa (MS) ***	Palha de aveia (MS) ***	Esterco caprino (MS)****	Lodo de esgoto (MS)*****	Borra de erva-mate (MS)	Borra de erva-mate (MF)
C	-	-	-	-	40	37	-	17,2	52,9	17,97
N	2 a 4	0,5 a 0,6	0,3 a 0,6	0,88	3	0,5	3,23	1,87	3,5	0,85
P	1 a 1,5	0,15	0,1	0,37	-	-	0,55	0,94	0,29	0,1
K	1 a 1,5	0,6	0,2	0,55	-	-	4,8	0,20	0,65	0,22
Ca	-	-	-	0,55	-	-	-	8,64	1,59	0,54
Mg	-	-	-	0,27	-	-	-	0,38	0,5	0,17

(MF) Massa fresca; (MS) Massa seca; * Wild (1993, p. 156); ** Saidelles, Reinert e Salet (2003, p. 20); *** Troeh e Thompson (1993, p. 96); Silva (2007, p. 55); Guedes et al. (2006, p. 270).

A erva-mate por ter passado pelo sapeco²¹ e desidratação durante seu processo de beneficiamento, bem como a borra de erva-mate por não entrar em contato com nenhum processo ou material com potencial de contaminação, não apresenta risco sanitário por contaminação com coliformes termotolerantes, ovos de helmintos e *Salmonella*.

A concentração de metais pesados no extrato lixiviado da borra de erva-mate (Tabela 7) estão todas abaixo do limite de quantificação, bem como, dos limites determinados pela ABNT NBR 10004:2004 (2004), o que permite a aplicação proposta.

TABELA 7. Concentração de metais pesados no extrato lixiviado da borra de erva-mate, conforme ABNT NBR 10004:2004.

Determinação	Metodologia	Unidade	Resultado	VMP ABNT NBR 10004:2004
As	SMWW 3120 B, USEPA 6010 C	mg L ⁻¹	<0,01	1,0
Cd	SMWW 3120 B, USEPA 6010 C	mg L ⁻¹	<0,001	0,5
Pb	SMWW 3120 B, USEPA 6010 C	mg L ⁻¹	<0,01	1,0
Cr	SMWW 3120 B, USEPA 6010 C	mg L ⁻¹	<0,01	5,0
Hg	EPA 245.7	mg L ⁻¹	<0,00005	0,1

²¹ Passagem das folhas em forte calor para que haja abertura dos estômatos, perda de umidade e decomposição das enzimas responsáveis pela oxidação dos sucos naturais da folha.

4.3 RESULTADOS SOLO APÓS APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE

4.3.1 Fósforo

O teor médio de fósforo por tratamento (FIGURA 5) na profundidade 0 a 10 cm variou de 1,25 mg dm⁻³ a 1,46 mg dm⁻³, valores estes observados nos tratamentos de 84.600 kg de borra ha⁻¹ e 54.600 kg de borra ha⁻¹, respectivamente. Tais concentrações foram inferiores à média descrita de 3,29 mg dm⁻³ em um erval por Borsoi e Costa (2001, p.137). Reissmann, Radomski e Quadros (1999) obtiveram concentrações de 3,1 e 6,4 mg dm⁻³ em um erval após aplicação de fertilizante orgânico. Segundo COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (2004, p. 51), concentrações inferiores a 7 mg de P dm⁻³ em solos com menos de 20% de argila são classificadas como muito baixo.

As concentrações médias do teor de fósforo obtidas em cada tratamento na profundidade 0 a 10 cm do solo não diferiram entre si de forma significativa (p<0,05), conforme Apêndice 2. Não houve interação entre dose e época, desta forma, pode-se dizer que as doses em relação ao tempo não exerceram influência significativa (p<0,05) nos teores de fósforo do solo.

Na profundidade de 10 a 20 cm (Apêndice 1), o teor médio de fósforo por tratamento variou de 0,26 mg dm⁻³ a 1,70 mg dm⁻³, ambos para o tratamento de 28.200 kg de borra ha⁻¹, aos 150 e 120 dias após aplicação do resíduo, respectivamente. Assim como na profundidade 0 a 10 cm, não foi observado variação significativa (p<0,05) das concentrações de fósforo no solo entre os tratamentos, bem como não houve variações significativas (p<0,05) nos teores de fósforo no tempo em relação a cada um dos tratamentos. Desta forma, pode-se dizer que as doses crescentes de borra de erva-mate não proporcionaram nem aumento, decréscimo e até mesmo capacidade de manter a concentração de fósforo durante o período observado.

A falta de variação significativa dos teores de fósforo no solo durante o período observado após aplicação dos tratamentos utilizando borra de erva-mate pode ser atribuída ao fato do fósforo exercer função estrutural (TROEH; THOMPSON, 1993). Deste jeito, sua liberação é muito mais lenta que a do potássio, por exemplo, que é liberado dos resíduos culturais cerca de 4 e 5 vezes mais rápido que o fósforo (MARSCHNER, 1995). Esta morosidade na obtenção de alterações significativas do

teor de fósforo no solo também foi observado por Eghball *et al.* (2002, p. 687) com a aplicação de esterco com 7,6 g de P kg⁻¹ (base seca) e aplicação de 129 kg de P ha⁻¹. O pH do solo também pode ter contribuído com a ausência de variação nos teores de fósforo após aplicação da borra, pois a mineralização do fósforo é mais lenta em solos ácidos (MELLO *et al.*, 1983). Não foi encontrado modelo significativo ($p < 0,05$) para predição dos teores de fósforo no solo em função das doses de resíduo.

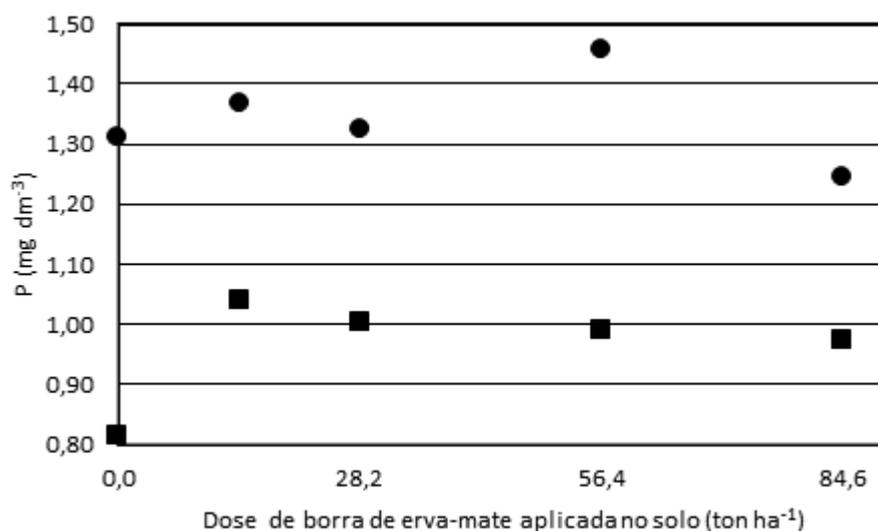


FIGURA 5. Teor de fósforo no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (●: 0 a 10 cm; ■: 10 a 20 cm).

4.3.2 Potássio

Durante os sete meses de observação após aplicação do resíduo no solo, o teor médio de potássio no solo (FIGURA 6) na profundidade 0 a 10 cm variou de 0,10 cmol_c dm⁻³ a 0,22 cmol_c dm⁻³, valores estes observados no tratamento sem resíduo aos 120 dias, e no tratamento de 84.600 kg de borra ha⁻¹ 150 dias após aplicação do resíduo, respectivamente. As primeiras variações significativas do teor de potássio no solo em função das doses ocorreram aos 90 dias após aplicação do resíduo (Apêndice 1). Aos 120 e 150 dias após aplicação, já era nítida a diferença do tratamento T5 e T4 em relação aos demais tratamentos. Este fato pode ser imputado a fácil lixiviação do potássio da matéria orgânica morta, já que não exerce função estrutural no tecido vegetal (TROEH E THOMPSON, 1993). As concentrações de potássio no solo,

observadas aos 210 dias após aplicação do resíduo, não apresentam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos T1, T2, T3 e T4.

Souza *et al.* (2008, p. 183) descreveram concentrações médias de potássio de $0,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em solo de um erval, a qual encontra-se dentro dos limites adequados definidos pela EMATER ($0,12$ e $0,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Todas as concentrações de potássio obtidas na camada 0 a 10 cm do solo, foram inferiores ao valor médio encontrado por Souza *et al.* (2008), porém, as concentrações obtidas com os tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram durante todo o período de observação concentrações de potássio superiores ao limite inferior de $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Houve uma tendência de decréscimo com o tempo nos teores de potássio no solo na profundidade 0 a 10 cm para os tratamentos T1 e T2 (Apêndice 1). No terceiro mês da instalação do experimento, já se observavam sinais de declínio nas concentrações de potássio nos solos que receberam os tratamentos T1, T2 e T3, sendo que aos 120 dias ficou bem definido tal diminuição, o qual chegava a atingir concentrações inferiores a $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para ambos os tratamentos, concentrações consideradas baixa²² segundo COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (2004, p. 52). O tratamento T1 apresentou para todos os meses de estudo baixas concentrações de potássio na camada 0 a 10 cm. Os tratamentos T2 e T3 aos dois meses (60 dias) após aplicação apresentavam concentração média²³ de potássio, sendo baixa para os demais meses.

Os tratamentos T5 e T4, diferentemente dos demais tratamentos, conseguiram manter as concentrações de potássio do solo ao longo do tempo devido ao incremento de potássio. O tratamento T4 mantém as concentrações de potássio no solo estatisticamente sem diferença ($p < 0,05$) durante 180 dias após aplicação do resíduo (Apêndice 1). Aos 210 dias após aplicação do resíduo, o teor de potássio obtido no solo com o tratamento T4 sofre um significativo ($p < 0,05$) decréscimo em relação aos seis meses iniciais. O solo tratado com o T4, durante os cinco meses iniciais, apresentou concentração de potássio classificada como média, caindo para classificação de baixo teor nos últimos dois meses de observação.

²² Concentração de K entre $0,08$ e $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, é considerada baixa.

²³ Concentração de K entre $0,15$ e $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, é considerada média

O tratamento T5 durante os 210 dias de pesquisa não apresentou variação significativa nos teores de potássio no solo, conseguindo manter durante todo este período uma concentração média de potássio segundo COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (2004, p. 52).

Na profundidade 10 a 20 cm, o teor médio de potássio variou de 0,10 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 0,13 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, com o tratamento de 14.100 kg de borra ha^{-1} e de 84.600 kg de borra ha^{-1} , respectivamente. Ou seja, a maior dose de borra proporcionou maiores concentrações médias de potássio em ambas as profundidades e em épocas próximas. As variações de concentração de potássio na profundidade 10 a 20 cm do solo são consideradas significativas ($p < 0,05$) conforme Apêndice 2. O tratamento T5 apresentou concentração média de potássio estatisticamente ($p < 0,05$) superior aos tratamentos T1, T2 e T3, e igual ao T4, que, por sua vez, é estatisticamente ($p < 0,05$) superior ao T1 e T2.

Na profundidade 10 a 20 cm do solo, não houve interação entre dose e época, portanto, pode-se dizer que não ocorreu variação significativa na concentração de potássio em função do tempo dentro dos tratamentos. Logo, pode-se dizer que não houve migração do potássio da camada superior para a inferior, em quantidades significativas. As doses que tiveram maior contribuição para manutenção do potássio na profundidade 0 a 10 cm foram os tratamentos T4 e T5 (Apêndice 1), contudo, as concentrações de potássio na camada 10 a 20 cm são classificadas como baixa em todos os tratamentos para todo período de análise, conforme COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (2004, p. 52).

Na profundidade 10 a 20 cm foi observada variação significativa ($p < 0,05$) dos teores de potássio entre as épocas. As maiores concentrações médias de potássio nesta camada foram observadas aos 60, 90 e 210 dias após aplicação, e sem variações entre eles. Aos 180 dias após aplicação, foi observado a menor concentração média de potássio, que por sua vez diferiu de todas as outras épocas. A justificativa para estas variações no tempo é o reflexo da baixa contribuição dos tratamentos T1, T2 e T3, na camada 0 a 10 cm, e a boa capacidade dos tratamentos T4 e T5 em manter as concentrações de potássio no solo.

Os modelos significativos ($p < 0,01$) para predição das concentrações de potássio em função das doses de resíduo (kg ha^{-1}), nas profundidades 0 a 10 e 10 a

20 cm são respectivamente $\hat{Y} = 9E-04x + 0,1112$ e $\hat{Y} = 4E-04x + 0,0991$, com os bons coeficientes de determinação $R^2 = 0,97$ e $R^2 = 0,92$, respectivamente. Além da correlação moderada entre potássio e dose de resíduo em ambas as profundidades (Apêndice 3), houve também correlação direta e moderada com a eletrocondutividade na camada 0 a 10 cm, e com o pH na camada 10 a 20 cm.

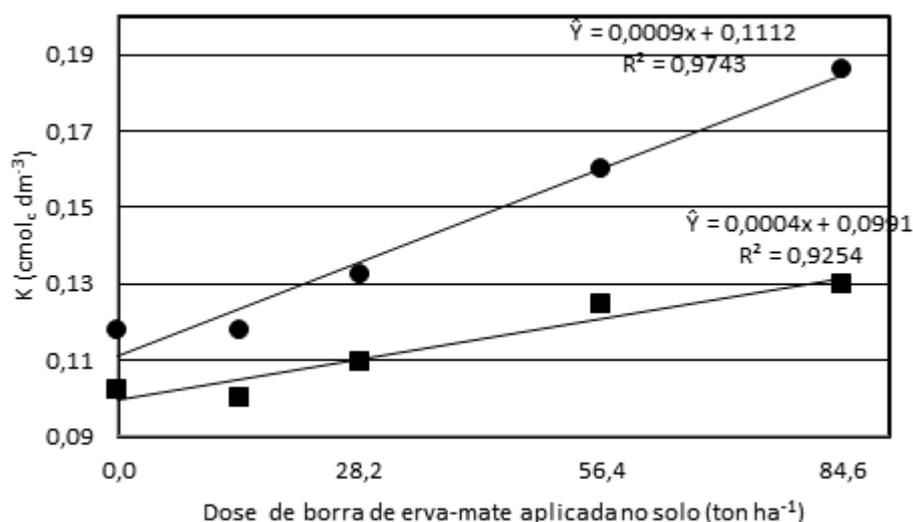


FIGURA 6. Teor de potássio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (●: 0 a 10 cm; ■: 10 a 20 cm).

4.3.3 Cálcio

As médias das concentrações de cálcio (FIGURA 7) na camada 0 a 10 cm, por tratamento, apresentaram variação de 0,60 a 1,11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, enquanto que na camada 10 a 20 cm a variação foi de 0,22 à 0,51 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, o que, de acordo com a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (2004, p. 52) são classificados como baixo devido a ser inferior a 2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, característico de solos ácidos (MELLO *et al.*, 1983).

As concentrações de cálcio observadas após aplicação da borra de erva-mate são inferiores ao obtido por Nobile *et al.* (2012, p. 119) após aplicação de 4.300 kg de resíduo de processamento de bauxita ha^{-1} (resíduo com 1,7% de Ca em base seca), 40.000 kg de dejetos suíno (6,5% de Ca em base seca) ha^{-1} ou 20.000 kg de composto orgânico (3,1% de Ca em base seca) ha^{-1} , obtendo respectivamente 13,33, 16,66 ou 16 $\text{mmol}_c \text{Ca dm}^{-3}$ no solo.

Nenhum dos tratamentos com aplicação do resíduo de borra de erva-mate, em nenhuma das profundidades, revelou variação significativa ($p < 0,05$) nos teores de cálcio, em relação ao T1. Em nenhuma das camadas a interação tratamento e época foi significativa ($p < 0,05$), desta forma, pode-se afirmar que não houve perda cálcio por lixiviação.

Em ambas as profundidades houve correlação direta e moderada do cálcio com pH, e forte e direta do cálcio com o magnésio na camada 0 a 10 cm. Não houve modelo significativo ($p < 0,05$) para predição das concentrações de cálcio em função das doses de borra de erva-mate.

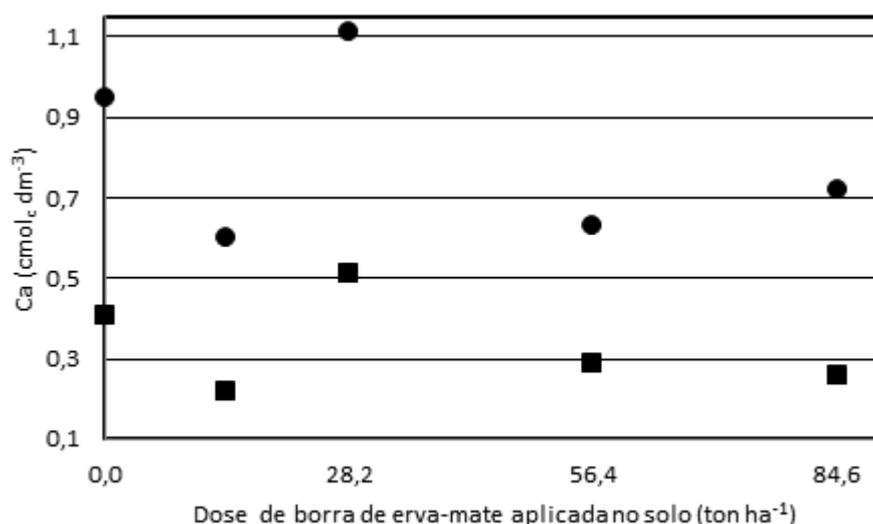


FIGURA 7. Teor de cálcio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (●: 0 a 10 cm; ■: 10 a 20 cm).

4.3.4 Magnésio

As concentrações médias de magnésio por tratamento (FIGURA 8) na camada 0 a 10 cm variou de 0,53 cmol_c dm⁻³ no T2 a 0,88 cmol_c dm⁻³ no T3, que equivalem a concentrações médias²⁴, conforme COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (2004, p. 52). Na camada 10 a 20 cm as variações foram de 0,18 cmol_c dm⁻³ no T2 a 0,31 cmol_c dm⁻³ no T3, que equivalem a baixas²⁵ concentrações.

As concentrações de magnésio obtidas após aplicação da borra de erva-mate foram próximas àquelas relatadas por Nobile *et al.* (2012, p. 119) após aplicação de

²⁴ Concentrações médias de magnésio são consideradas entre 0,6 e 1 cmol_c dm⁻³.

²⁵ Concentração de magnésio inferior a 0,5 é considerada baixa.

dejeito suíno e composto de lixo, que foram de 0,52 e 0,47 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Apêndice 2) respectivamente, porém se verifica que a aplicação da borra não causou variação significativo ($p < 0,05$) nos teores de magnésio em nenhuma das profundidades analisadas, bem como não houve interação entre dose e época, podendo dizer que o resíduo não aumentou, diminuiu ou manteve as concentrações de magnésio de forma significativa ($p < 0,05$) em relação ao tempo. Não se obteve um modelo estatisticamente significativo ($p < 0,05$) para predição das concentrações de magnésio em função das doses de borra de erva-mate.

Há existência de correlação direta do magnésio com cálcio para ambas as profundidades (Apêndice 3), sendo forte na camada 0 a 10 cm e moderada na mais profunda. Em ambas as profundidades houve também correlação direta e moderada entre magnésio e pH.

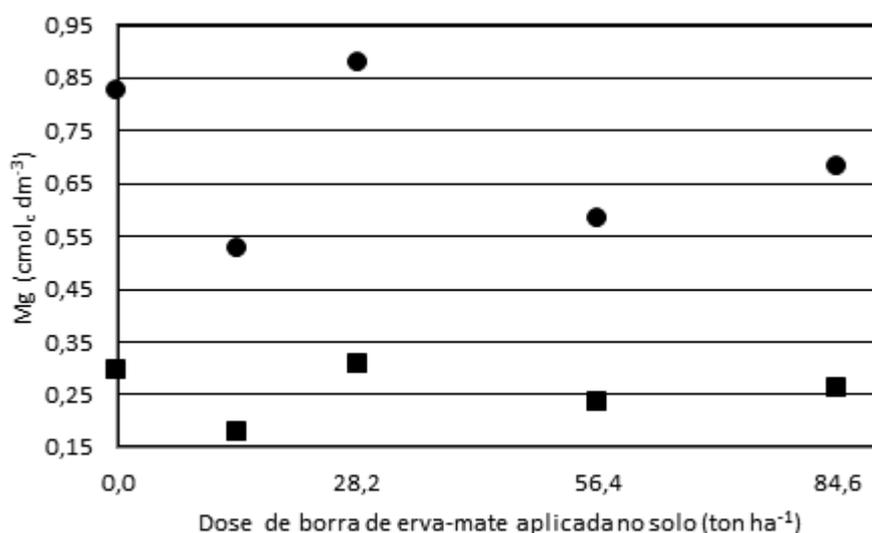


FIGURA 8. Teor de magnésio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (●: 0 a 10 cm; ■: 10 a 20 cm).

4.3.5 Alumínio

O teor médio de alumínio por tratamento (FIGURA 9) na camada 0 a 10 cm variou de 3,20 no T3 a 3,76 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no T2, e na camada 10 a 20 cm esta variação foi de 3,76 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no T5 a 4,30 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no T2. Reissmann, Radomski e Quadros

(1999) verificaram em um erval com aplicação de fertilizante orgânico concentração de alumínio de $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Em ambas as profundidades não houve variação significativa ($p < 0,05$) entre as médias dos tratamentos (Apêndice 2), assim como não houve interação entre dose e época, o que permite dizer que para cada um dos tratamentos não houve aumento e nem diminuição significativa ($p < 0,05$) dos teores de alumínio. Não foi obtido modelo estatisticamente significativo ($p < 0,05$) para predição das concentrações de alumínio em função das doses de resíduo.

Para profundidade 0 a 10 cm que (Apêndice 3), a medida que diminuem as concentrações de magnésio e cálcio, se elevam as de alumínio, fazendo com que o pH do solo diminua.

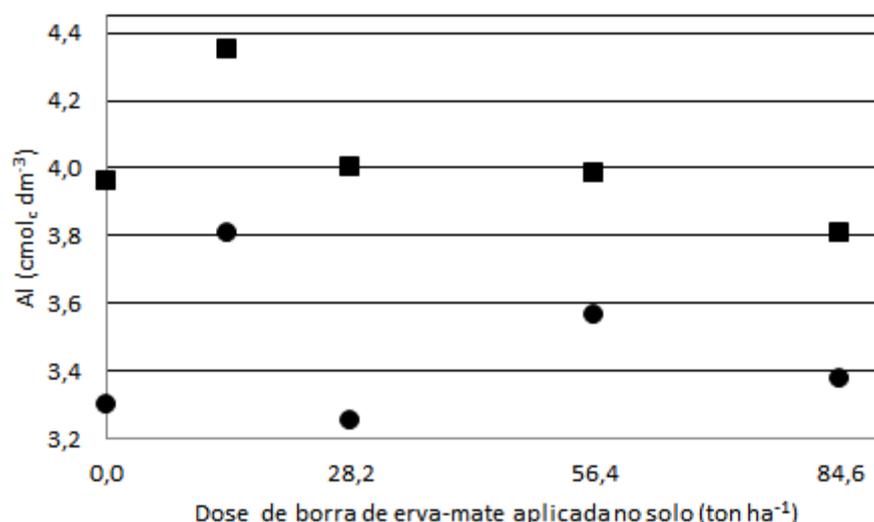


FIGURA 9. Teor de alumínio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (● : 0 a 10 cm; ■ : 10 a 20 cm).

4.3.6 Sódio

Em média, o teor de sódio na camada 0 a 10 cm variou de $0,018 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no T1 a $0,021 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no T5 (FIGURA 10). Verifica-se que entre os tratamentos com aplicação de borra de erva-mate não houve variação significativa no teor de sódio da camada 0 a 10 cm (Apêndice 2); porém, com exceção do T3, todos os tratamento

tiveram concentrações de sódio significativamente superiores ao T1, contudo, tais concentrações são consideradas baixas e sem risco a qualidade do solo ou cultura.

Na profundidade de 10 a 20 cm do solo não houve variação significativa ($p < 0,05$) nas concentrações de sódio, entre os tratamentos. Para nenhuma das profundidades foram obtidos modelos estatisticamente significativos ($p < 0,05$) para predição das concentrações de sódio em função das doses de resíduo. Verificou-se uma moderada correlação entre as concentrações de sódio na profundidade 10 a 20 cm com o fósforo e cálcio.

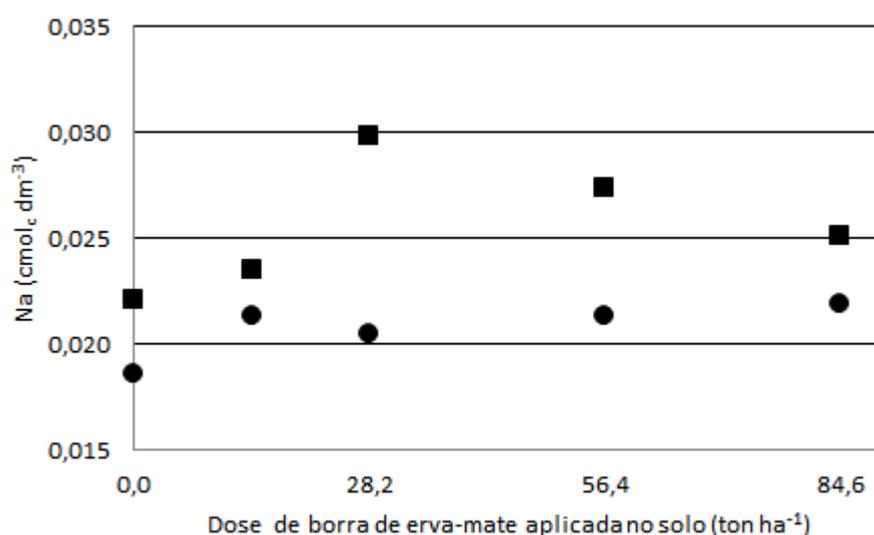


FIGURA 10. Teor de sódio no solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (●: 0 a 10 cm; ■: 10 a 20 cm)

4.3.7 pH

O pH do solo apresentou média variando de 3,77 a 3,88 nos tratamentos T2 e T3 da camada 0 a 10 cm (FIGURA 11). Na camada 10 a 20 cm, o pH variou de 3,58 no T2 a 3,88 no T1, sendo que nesta camada, todos os tratamentos apresentaram diminuição significativa ($p < 0,05$) do pH a partir dos 120 dias após aplicação do resíduo.

O pH do solo não apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os diferentes tipos de tratamento com o resíduo, em nenhuma das profundidades, sendo insignificante, entre os tratamentos, a influência do resíduo no pH do solo, durante o período de observação. Na camada 0 a 10 cm, não houve interação

significativa entre tratamento e época. Apesar da borra de erva mate possuir concentração significativa de matéria orgânica, tal resíduo não contribui de forma significativa para acidificação do solo.

Verifica-se que para a profundidade 0 a 10 cm houve correlação moderada e inversa entre pH e época, ou seja, a medida em que o tempo passou o solo desta camada tendeu a acidificação, apesar das variações não terem sido significativas ($p < 0,05$). Verifica-se ainda na camada 0 a 10 cm, correlação moderada e inversa entre pH e alumínio, sendo que o solo tendeu a reduzir o pH com o aumento das concentrações de alumínio. Para ambas as profundidades foi verificado correlação moderada do pH com cálcio e magnésio, e na profundidade 10 a 20. Houve também correlação moderada do pH com potássio, isso porque o pH do solo é reflexo das concentrações de cátions básicos no solo (BOAS PRÁTICAS PARA O USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES, 2010).

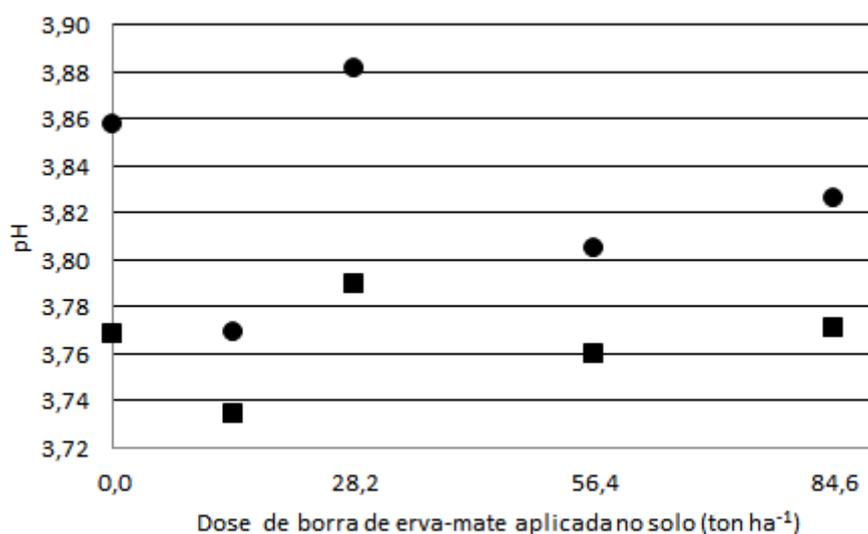


FIGURA 11. pH (CaCl₂) do solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (●: 0 a 10 cm; ■: 10 a 20 cm).

4.3.8 Eletrocondutividade

A eletrocondutividade do solo na camada 0 a 10 cm variou em média por tratamento de 53,5 $\mu\text{s cm}^{-1}$ a 64,53 $\mu\text{s cm}^{-1}$, e na profundidade 10 a 20 cm, de 49,70 $\mu\text{s cm}^{-1}$ a 73,40 $\mu\text{s cm}^{-1}$ (FIGURA 12) Tais concentrações são bem inferiores àsquelas obtidas por Killi e Kavdir (2008, p. 2326), após aplicação de bagaço de azeitona no solo, onde obtiveram valores de 110 $\mu\text{s cm}^{-1}$ a 175 $\mu\text{s cm}^{-1}$. Vale lembrar que segundo

Killi e Kavdir (2008, p. 2326), o valor limite para salinidade do solo é de $4.000 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Na camada 0 a 10 cm, não houve variação significativa das médias de eletrocondutividade entre os diferentes tratamentos, e pela falta de interação entre dose e época, pode-se dizer que as doses crescentes de borra de erva-mate não aumentaram e nem diminuíram a salinidade do solo.

Na camada 10 a 20 cm, todos os tratamentos apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) da eletrocondutividade entre os 90 e 120 dias após aplicação do resíduo, sendo que após esta época o decréscimo também foi significativo até a última observação, porém, entre os tratamentos não houve variações significativas ($p < 0,05$) de eletrocondutividade.

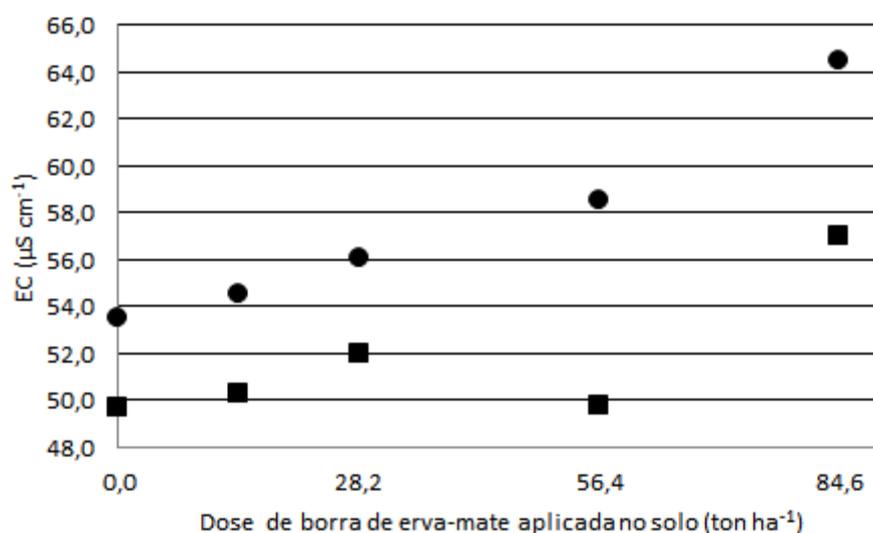


FIGURA 12. Eletrocondutividade solo do erval na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate (●: 0 a 10 cm; ■: 10 a 20 cm).

4.4 RESULTADOS NA PLANTA APÓS APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE

4.4.1 Nitrogênio

As concentrações médias de nitrogênio na folha por tratamento (FIGURA 13) variaram de $21,6 \text{ g kg}^{-1}$ no T5 a $22,4 \text{ g kg}^{-1}$ no T4, sendo que não houve diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as médias dos tratamentos. Os valores

de nitrogênio foliar obtido estão dentro da faixa observada por Ribeiro *et al.* (2008, p.206) após aplicação de 80 kg N ha⁻¹, onde obtiveram concentração média de nitrogênio em folhas de erva-mate de 7,1 g kg⁻¹ a 30,01 g kg⁻¹. As maiores concentrações de nitrogênio obtidas foram inferiores àquelas obtidas por Pandolfo *et al.* (2003, p. 37), em seu experimento de adubação com erva-mate, em que obteve teores foliares de nitrogênio de 24,1 g kg⁻¹, na ausência de adubação nitrogenada, até 29,1 g kg⁻¹ na dose máxima de uréia aplicada por planta (125 g). Brondani *et al.*, (2008, p. 270), observaram elevadas concentrações de nitrogênio em folhas de erva-mate, em média 46,9 g N kg⁻¹.

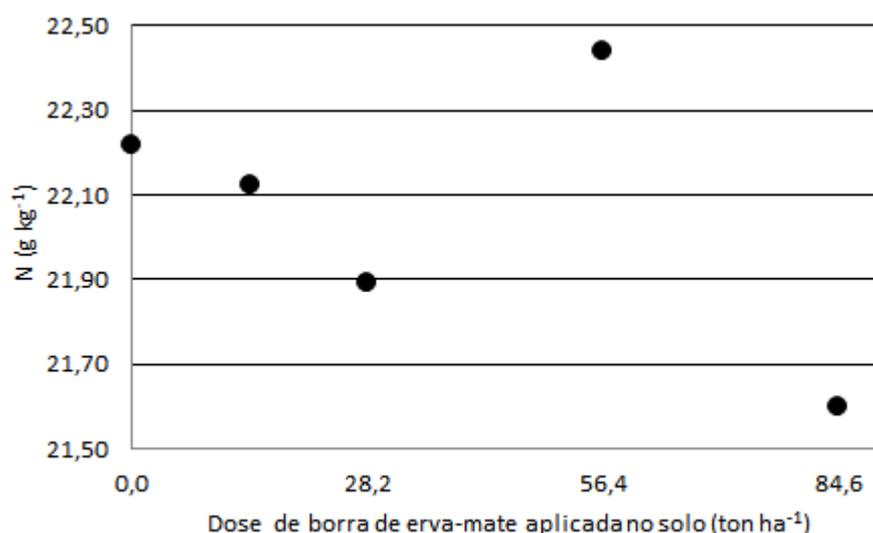


FIGURA 13. Teor de nitrogênio total na folha de erva-mate com 210 dias após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.

4.4.2 Fósforo

Os teores médios de fósforo na folha por tratamento (FIGURA 14) variou de 1,01 g kg⁻¹ a 1,15 g kg⁻¹, correspondente aos tratamentos T2 e T3. Estes valores semelhantes ao 1,3 g kg⁻¹ verificado por Pandolfo *et al.* (2003, p. 39) sem adição de P₂O₅, porém, após adição de 100 e 125g de P₂O₅ planta⁻¹ observaram concentração de fósforo na folha de 1,7 g kg⁻¹, contudo, a resposta a adição de P₂O₅ no solo não foi considerada significativa.

As doses de P₂O₅ nos tratamentos T4 e T5 (280% e 420% da recomendação de reposição de P₂O₅, respectivamente) equivalem a 28,2 g erva⁻¹ e 42,3 g erva⁻¹

¹, que por sua vez são superiores a dose ideal de 25 g de P_2O_5 $erqueira^{-1}$ relatado por Pandolfo *et al.* (2003, p. 37), porém, durante o período observado este incremento de fósforo através do resíduo de borra de erva-mate não motivou variação significativa nos teores de fósforo na folha.

Os teores de fósforo na folha teve correlação inversa e moderada com a produção de massa seca das ervaíras (Apêndice 5), sendo que vale ressaltar que Bellote e Sturion (1985, p. 125), observaram que a carência de fósforo afeta significativamente a produção de matéria seca da erva-mate. Houve também correlação direta e moderada entre o fósforo da folha e fósforo do solo, e fósforo da folha com o magnésio do solo que por sua vez pode influenciar a absorção de fósforo pela folha. Desta forma, a não variação dos teores de fósforo na folha se deve a baixa contribuição do resíduo no fornecimento de fósforo ao solo durante os 210 dias.

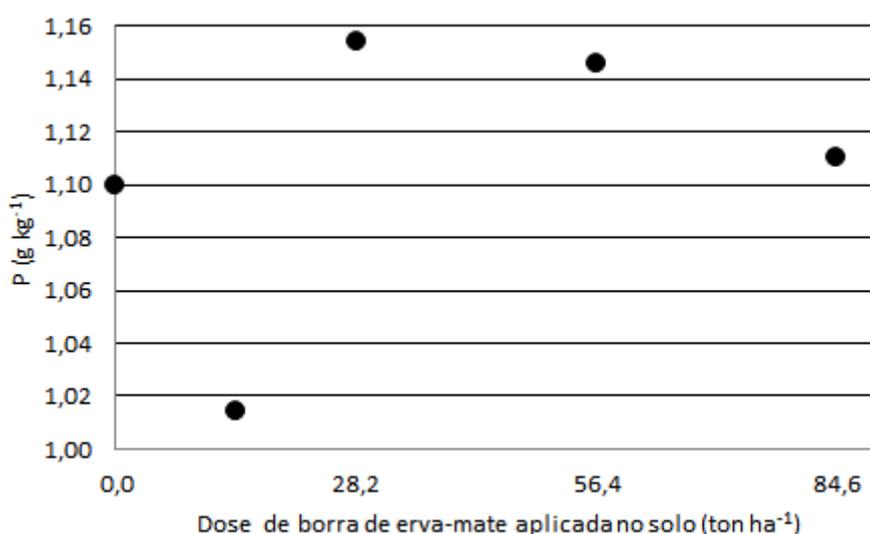


FIGURA 14. Teor de fósforo na folha de erva-mate 210 após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.

4.4.3 Potássio

As concentrações médias de potássio na folha por tratamento (FIGURA 15) variaram de 9,10 g kg^{-1} no T1 a 11,63 g kg^{-1} no T4, ou seja, dentro da faixa de 5 g kg^{-1} a 60 g kg^{-1} , normalmente observado em folhas segundo Mello *et al.* (1983). A concentração de potássio obtida no tratamento sem resíduo (T1) foi semelhante ao obtido por Pandolfo *et al.* (2003, p. 39) de 8 g kg^{-1} de potássio na erva-mate na ausência de adubação potássica, sendo que a concentração de potássio na folha foi

de 19,2 g kg⁻¹ após aplicação de 125g de K₂O erva⁻¹. Pandolfo *et al.* (2003, p. 39) obtiveram em um solo com teor de potássio inferior a 120 mg l⁻¹ ponto de máxima eficiência técnica de 75,5 g de K₂O erva⁻¹ a 78,7 g de K₂O erva⁻¹, sendo que através da borra de erva-mate os tratamentos T4 e T5 equivalem respectivamente a 62,4 g de K₂O erva⁻¹ e 93,06 g de K₂O erva⁻¹, porém pode ser observado (Apêndice 4) que nenhum dos tratamentos apresentou variações estatisticamente variações significativas (p<0,05) em relação ao teor de potássio. A falta de resposta da planta em relação ao potássio pode estar relacionada à reserva de potássio presente na planta.

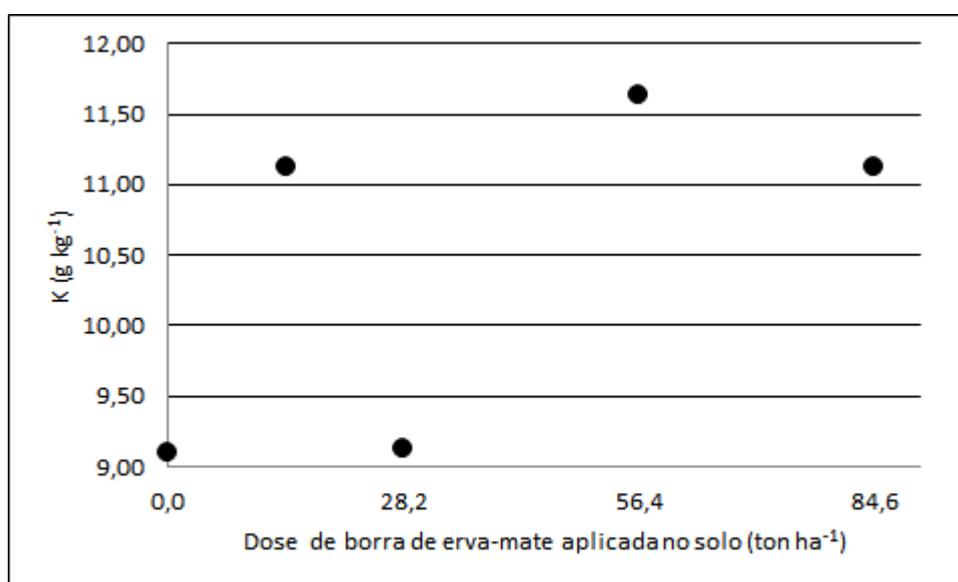


FIGURA 15. Teor de potássio na folha de erva-mate 210 após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.

4.4.4 Cálcio

A borra de erva-mate é um resíduo com baixa concentração de cálcio, e por isso não foram observados efeitos significativos (p<0,05) das doses no solo (Apêndice 2) e folha (Apêndice 4). As concentrações médias de cálcio na folha por tratamento (FIGURA 16) variaram de 11,22 a 13,85 g kg⁻¹ para adição de 14,1 a 28,2 ton ha⁻¹, sendo que as doses crescentes de borra de erva-mate não apresentaram variação significativa (p<0,05) nas concentrações de cálcio na folha (Apêndice 4), sendo que este teor foi bem superior ao relatado por Reissmann, Radomski e Quadros (1999) em um erval com aplicação de fertilizante orgânico obtendo concentrações de cálcio

na folha entre 4,8 e 5,2 g kg⁻¹. O cálcio da folha apresentou correlação moderada e direta com o pH e magnésio do solo e correlação inversa e moderada entre cálcio e potássio para a folha.

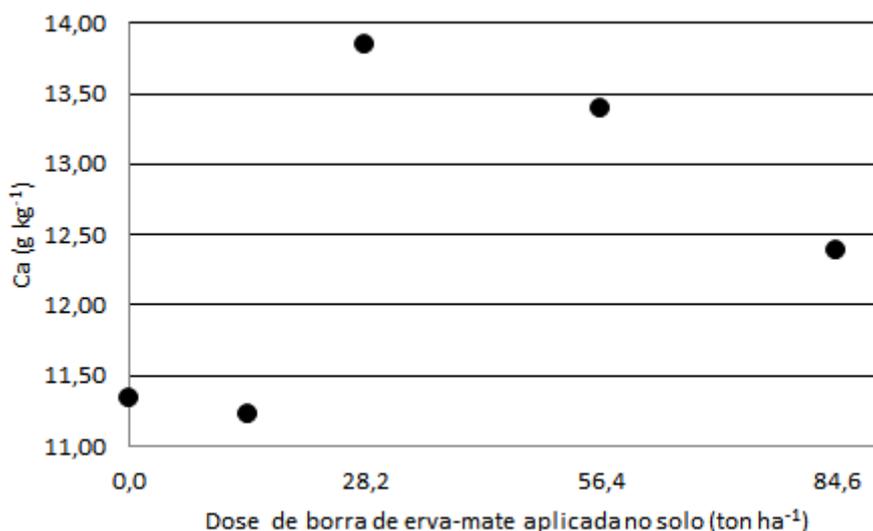


FIGURA 16. Teor de cálcio na folha de erva-mate 210 após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.

4.4.5 Magnésio

As concentrações médias de Magnésio na folha por tratamento (FIGURA 17) variou de 7,4 g kg⁻¹ no T2 a 10,13 g kg⁻¹ no T3. Essas concentrações são bem superiores à faixa de 0,2% a 0,4% geralmente descrita (RAIJ, 1991). Há correlação inversa e moderada entre magnésio na folha e potássio na folha (Apêndice 5), indicando uma possível competitividade entre os íons segundo Pandolfo *et al.* (2003, p.40). A concentração de magnésio no solo apresentou correlação direta e forte com a concentração do magnésio da folha. A correlação direta e forte entre magnésio na folha e pH indica que com o aumento da acidez do solo aumenta também a dificuldade de absorção de magnésio (MELLO *et al.*, 1983). A variação dos teores de magnésio na folha em função das doses de resíduo aplicado não foi significativa ($p < 0,05$), podendo-se dizer que para o período de observação o aporte de matéria orgânica no solo através da aplicação do resíduo não contribuiu para o fator magnésio foliar

conforme Mello *et al.* (1983), porém, as condições do solo, como, cálcio e pH não foram favoráveis, interferindo também no efeito das doses de resíduo sob o solo.

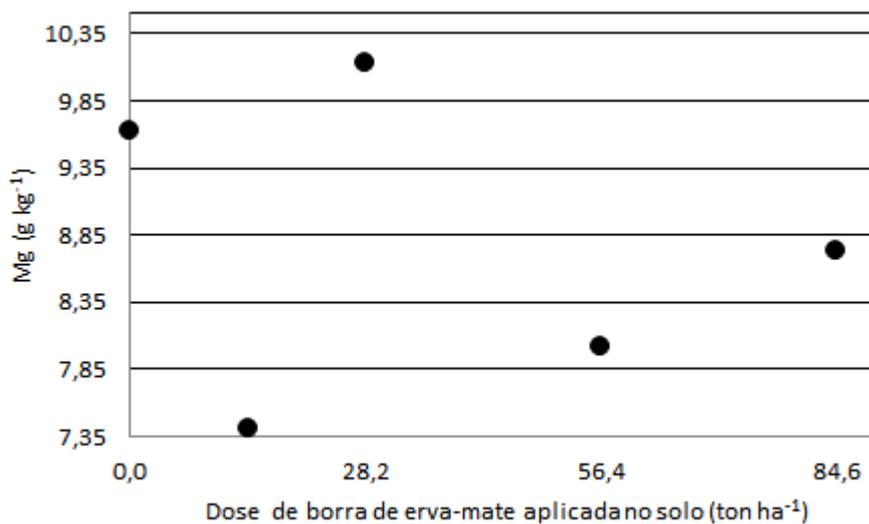


FIGURA 17. Teor de magnésio na folha de erva-mate 210 após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate no solo.

4.4.6 Crescimento do ramo

A aplicação do resíduo no solo não causou variação significativa a 5% entre as médias de tamanho dos ramos. Apesar disso, o tamanho médio dos ramos aumentou com o aumento das doses de resíduo (FIGURA 18), sendo que o tamanho médio dos ramos de T4 foi 21% maior do que o do T1. Houve uma inversão de comportamento inexplicável para T5, fazendo com que o tamanho médio do ramo no T5 fosse maior apenas que a média observado com o T1.

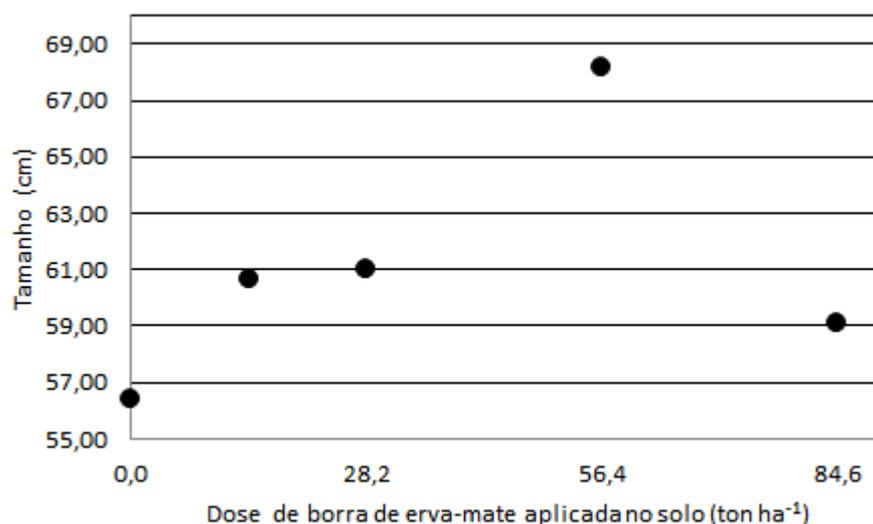


FIGURA 18. Tamanho médio do ramo de erva-mate após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate.

4.4.7 Massa seca da folha

A massa seca de um conjunto de 10 folhas de erva-mate (FIGURA 19) variou de 4,88 g erva⁻¹ no T1 a 5,95 g erva⁻¹ no T2, sendo que as médias dos tratamentos não variaram de forma significativa ($p < 0,05$).

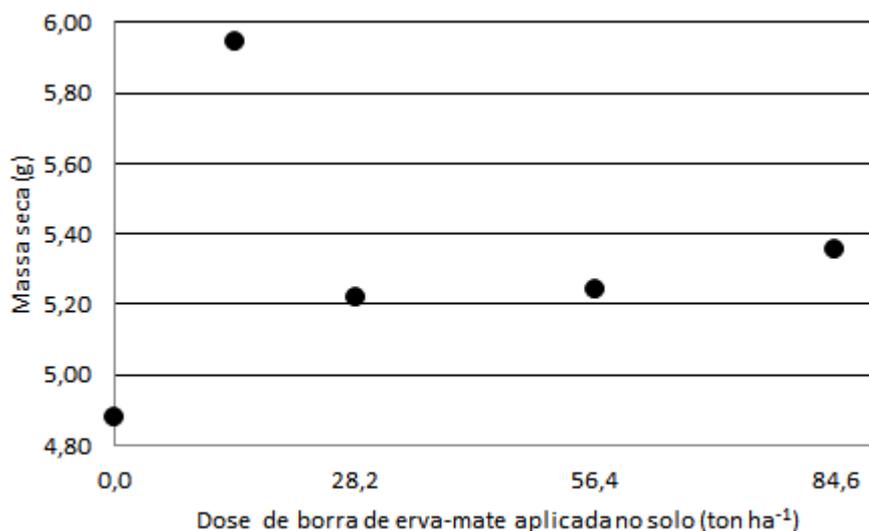


FIGURA 19. Massa seca total de um conjunto de 10 folhas de erva-mate após aplicação de doses crescentes de borra de erva-mate.

Por último, foi verificado visualmente um aumento na brotação das erva-mates das parcelas que receberam maior quantidade de resíduos, contudo, não foram

realizadas mensurações acerca desta característica devido às dificuldades desta determinação.

5. CONCLUSÕES

- a) A caracterização do solo (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, carbono, pH, acidez potencial, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por base e saturação por alumínio) realizada antes da aplicação da borra de erva-mate no solo indicou que o solo possuía baixa fertilidade, sendo que após a aplicação da borra de erva-mate no solo do erval, não foi observado, na camada 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, variação significativa ($p < 0,05$) no pH, eletrocondutividade, nem nos teores de fósforo, cálcio, magnésio e alumínio, permanecendo tais elementos com concentrações semelhantes às aquelas ocorridas no solo antes da aplicação da borra de erva-mate.
- b) A borra de erva-mate foi classificada como resíduo não perigoso e não inerte, e não foram observados quaisquer efeitos adversos no solo ou planta apesar das elevadas doses aplicadas deste resíduo no solo.
- c) Os tratamentos 56.400 kg de borra ha⁻¹ e 84.600 kg de borra ha⁻¹ apresentaram concentrações de sódio significativamente ($p < 0,05$) superior ao da testemunha, contudo, as concentrações verificadas no solo são baixas, e não representam riscos ao solo ou erveiras. Nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm foi observada aumento significativo ($p < 0,05$) nos teores de potássio em função das doses de borra de erva-mate aplicada, sendo que as maiores concentrações de potássio no solo foram obtidas com a aplicação de 84.600 kg de borra ha⁻¹. O solo em que não houve aplicação da borra de erva-mate, bem como o que recebeu a menor dose (14.100 kg de borra ha⁻¹), apresentaram concentrações baixas de potássio durante a maior parte do tempo e tendência de diminuição ao longo do tempo. O solo com as doses 28.200 kg de borra ha⁻¹, 56.400 kg de borra ha⁻¹ e 84.600 kg de borra ha⁻¹ demonstraram durante maior parte do tempo concentrações médias de potássio, sendo que a maior dose foi à única que manteve as concentrações médias durante os 210 dias de observação, o que sugere, para este erval, aplicações mais frequentes deste resíduo em quantidade igual ou superior a dose de 84.600 kg de borra ha⁻¹.
- d) A aplicação da borra de erva-mate não proporcionou variação no crescimento das erveiras e nem em sua produção de massa seca.

- e) Na folha de erva-mate não foram observados acréscimos ou decréscimos nos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio após aplicação da borra de erva mate, o que pode ser atribuída à reserva nutricional da planta ao longo de seus 28 anos de existência.
- f) A aplicação da borra de erva mate em doses crescentes contribuiu para a manutenção dos teores de potássio no solo, desta forma, a borra de erva-mate possui potencial de utilização como condicionador de solo, sendo que para o solo do erval em questão sua aplicação é recomendada como uma fonte complementar de nutrientes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, Ivaldete T. et al . Avaliação agronômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, Campina Grande, v. 15, n. 6, June 2011 .

BELLOTE, A. F.J.; STURION, J.A. Deficiências minerais em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.)-Resultados preliminares. IN: **SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS**, 10., 1985, Curitiba. Anais... 1985. p. 124-127. (Documentos, 15).

BENEDETTI, Eliziane Luiza. **TOLERÂNCIA DA ERVA MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) AO ALUMÍNIO**. 2012. 72 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

BOAS PRÁTICAS PARA O USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES, 2009, Piracicaba. **Manejo da acidez do solo**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - Brasil, 2010.

BOAS PRÁTICAS PARA O USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES, 2009, Piracicaba. **The four rights within a global fertilizer best management practices framework**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - Brasil, 2010.

BOHNEN, H.; MEURER, E. J; BISSANI, C. A. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 109-126.

BORSOI, Geedre Adriano; COSTA, Ervandil Corrêa. AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE ERVA-MATE ATACADAS E NÃO ATACADAS PELO *Hedyopathes betulinus* (*POTÁSSIO*lug, 1825). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p.131-142, 2001.

Brasil. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 30 de agosto de 2006.

BRONDANI, Gilvano Ebling *et al.* DISTRIBUIÇÃO DE N P K EM UM POVOAMENTO DE *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p.267-275, abr. 2008.

CANTARELA, H.; ABREU, C. A. de; BERTON, R. S. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: **ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO**

SOLO: PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu-SP. Anais. Faculdade de Ciências Agronômicas, p. 63 - 122.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. 2004. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 400p.

CORRÊA, Juliano Corulli *et al.* Alteração de atributos físicos em latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama, cal, lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p.263-272, mar. 2009.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, S. I., v. 46, n. 3, p. 11-43, março 2005.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: I. Survey protocols. **Computers and Electronics in Agriculture**, S. I., v. 46, n. 3, p. 103-133, março 2005.

DANIEL, Omar. **Erva-mate Sistema de produção e processamento industrial**. Dourados: Ufgd, 2009.

DELBEM, Flavia Cristina *et al.* Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p.361-367, abr. 2011.

EGHBALL, Bahman *et al.* Long-Term Manure and Fertilizer Application Effects on Phosphorus and Nitrogen in Runoff. **Biological Systems Engineering: Papers And Publications**, Lincoln, v. 45, n. 3, p.687-694, jan. 2002.

EIGENBERG, R. A. et al. Electrical conductivity monitoring of soil condition and available N with animal manure and a cover crop. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, S. I., v. 88, n. 2, p. 183-193, fevereiro 2002.

GÁNDARA, Jesús Simal *et al.* Changes in soil properties and in the growth of *Lolium multiflorum* in an acid soil amended with a solid waste from wineries. **Bioresource Technology**, New York, v. 99, n. 15, p.6771-6779, out. 2008.

GIACOMINI, Sandro José et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, set. 2003.

GIULIAN, Raquel *et al.* Elemental Characterization of Commercial Mate Tea Leaves (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) before and after Hot Water Infusion Using Ion Beam Techniques. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, Califórnia, v. 55, n. 3, p.741-746, 2007.

GLÓRIA, Nadir Almeida da. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: **ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: PROBLEMAS E SOLUÇÕES**, 1992, Botucatu-SP. Anais. Faculdade de Ciências Agrônômicas, p. 129 - 148.

GUEDES, Marcelino Carneiro *et al.* PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E NUTRIÇÃO DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p.267-280, mar. 2006.

GUGLIUCCI, Alejandro *et al.* Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: Minireview. **Journal Of Ethnopharmacology**, Copenhagen, p. 378-384. 14 jul. 2011.

Instituto Ambiental do Paraná. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais do Estado do Paraná**. Curitiba, 2009.

KAVDIR, Yasemin; KILLI, Dilek. Influence of olive oil solid waste applications on soil pH, electrical conductivity, soil nitrogen transformations, carbon content and aggregate stability. **Bioresource Technology**, Canakkale, n. , p.2326-2332, 6 maio 2007.

MALAVOLTA, Eurípedes; VITTI, Godofredo Cesar; OLIVEIRA, Sebastião Alberto de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997.

MARSCHNER, Horst. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995.

MELLO, Francisco de Assis Ferraz de *et al.* **Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Nobel, 1983.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Org.). **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e condicionador do solo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2013.

MORAIS, Elayne Cristina de. **Avaliação dos efeitos hipocolesterolêmico, antioxidante e anti-inflamatório da infusão da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em indivíduos normolipidêmicos ou dislipidêmicos, usuários ou não de estatina**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

Munns, R.. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell And Environment**, Canberra, v. 25, n. 2, p.239-250, fev. 2002.

NOBILE, Fabio Olivieri de; GALBIATTI, João Antonio; MURAIISHI, Reginaldo Itiro. Fertilizantes orgânicos e resíduo de bauxita na disponibilidade de nutrientes e nutrição da cana-de-açúcar irrigada com água potável e residuária. **Comunicata Scientiae**, Teresina, v. 3, n. 2, p.115-122, jun. 2012.

PAGLIOSA, Cristiane Manfé. **CA QUÍMICA DO RESÍDUO DE ERVAIS E FOLHAS "IN NATURA" DE ERVA-MATE (Ilex paraguariensis A. St. Hil.)**. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PANDOLFO, Carla Maria *et al.* RESPOSTA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) À ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM UM LATOSSOLO VERMELHO ALUMINOFÉRRICO. **Ciência Floresta**, Santa Maria, v. 13, n. , p.37-45, 2003.

PAVINATO, Paulo Sergio; MERLIN, Alexandre; ROSOLEM, Ciro Antonio. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p.1031-1040, jul. 2009.

PRADO, Hélio do. **Manual de Classificação de Solos do Brasil**. Jaboticabal: FUNEP, 1996.

KAVDIR, Yasemin; KILLI, Dilepotássio. Influence of olive oil solid waste applications on soil pH, electrical conductivity, soil nitrogen transformations, carbon content and aggregate stability. **Bioresource Technology**, New York, v. 99, n. 7, p. 2326-2332, maio 2008.

PROIETTI, Primo *et al.* Effect of solid olive-mill waste amendment on soil fertility and olive (*Olea europaea* L.) tree activity. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, S.l., v. 164, n. , p.292-297, jan. 2013.

RAIJ, Bernardo Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991.

REISSMANN, Carlos Bruno; CARNEIRO, Charles. CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* ST. HIL.), TRANSCORRIDOS OITO ANOS DE CALAGEM. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p.381-386, set 2004.

REISSMANN, Carlos Bruno; RADOMSKI, Maria Izabel; QUADROS, Ruth Maria Bianchini de. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. under different management conditions in seven localities of Paraná State. *Braz. arch. biol. technol.*, Curitiba, v. 42, n. 2, 1999.

RIBEIRO, Fabiana Rodrigues *et al.* POTENTIAL USE OF A CHEMICAL LEACHING REJECT FROM A KOLIN INDUSTRY AS AGRICULTURAL FERTILIZER. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p.939-946, jul. 2007.

RIBEIRO, Marcia Marzagão *et al.* NUTRIÇÃO DA ERVA-MATE COM SULFATO DE AMÔNIO. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p.204-211, jul. 2008.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet; PHILIPPI JUNIOR, Arlindo. **Curso de Gestão Ambiental**. 3. ed. São Paulo: Manole, 2004. 1050 p.

SAIDELLES, Fabio Luiz Fleig; REINERT, Dalvan José; SALET, Roberto Luiz. CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) EM TRÊS CLASSES DE SOLOS, NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p.17-25, 2003.

SANTIN, Delmar *et al.* Poda e anelamento em erva-mate (*Ilex paraguariensis*) visando à indução de brotações basais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 56, n. , p.97-104, jan. 2008.

SANTOS, Carlos Henrique dos *et al.* Fertilidade do solo e nutrição de tangerineiras 'Ponkan' manejados com resíduos sólidos e adubação química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15 n. 1, p.75-83, jan. 2011.

SANTOS, Perlon Maia Dos; SANTOS, Antonio Clementino Dos; SILVA, José Expedito Cavalcante da. Resíduo de laticínio em pastagem de capim Mombaça: atributos químicos da forragem e do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p.377-390, jan. 2013.

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 4, Orlando-FL-USA: Anais... Orlando:American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396.

SILVA, Tácio Oliveira da and MENEZES, Rômulo Simões Cezar. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*: II - disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, vol.31, n.1, p. 51-61, jan 2007.

SITA, Regiane Cristina Marcato *et al.* Effect of Polymers Associated with N and K Fertilizer Sources on *Dendrotheca grandiflorum* Growth and *POTÁSSIO*, Ca and Mg Relations. **Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 48, n. 3, p.335-342, maio 2005.

SOUZA, Jorge Luiz Moretti de *et al.* Exportação de nutrientes foliares em diferentes tipos de poda na cultura da Erva-Mate. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p.177-185, 2008.

TROEH, Frederick; THOMPSON, Louis. **Soils and soil fertility**. New York: Oxford University, 1993.

VALDUGA, Eunice *et al.* Caracterização química da folha de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (erva-mate) e de outras espécies utilizadas na adulteração do mate. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 15, n. 1, p.25-36, jan. 1997.

WILD, Alan. **Soils and the environment: An introduction**. Cambridge: Press Syndicate Of The University Of Cambridge, 1993.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1 – MÉDIAS DO TEOR DE POTÁSSIO NA CAMADA 0 A 10 CM DO SOLO E DO TEOR DE FÓSFORO, pH E ELETROCONDUTIVIDADE NA CAMADA 10 A 20 DO SOLO NA INTERAÇÃO TRATAMENTO E ÉPOCA, APÓS APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE NO SOLO.

Tratamento (ton ha ⁻¹)	Dias após aplicação da borra de erva-mate					
	60	90	120	150	180	210
	P 10 a 20 cm (mg dm ⁻³)					
T1 - 0	1,04 aA	0,80 aA	0,98 aA	0,36 aA	0,84 aA	0,86 aA
T2 - 14,1	1,68 aA	0,88 aA	1,60 aA	0,48 aA	0,98 aA	0,62 aA
T3 - 28,2	1,18 aA	1,70 aA	0,88 aA	0,26 aA	1,00 aA	1,00 aA
T4 - 56,4	1,04 aA	1,40 aA	1,66 aA	0,28 aA	0,94 aA	0,62 aA
T5 - 84,6	1,22 aA	1,08 aA	1,34 aA	0,36 aA	1,00 aA	0,84 aA
	K 0 a 10 cm (cmol _c dm ⁻³)					
T1 - 0	0,15 aA	0,11 cB	0,10 bB	0,12 bAB	0,11 bB	0,13 bAB
T2 - 14,1	0,15 aA	0,11 bcAB	0,11 bB	0,11 bB	0,11 bB	0,11 bB
T3 - 28,2	0,16 aA	0,15 abAB	0,12 bB	0,12 bAB	0,12 abAB	0,12 bAB
T4 - 56,4	0,18 aA	0,18 aA	0,16 aAB	0,18 aA	0,14 abAB	0,12 bB
T5 - 84,6	0,17 aA	0,19 aA	0,18 aA	0,22 aA	0,17 aA	0,19 aA
	pH 10 a 20 cm					
T1 - 0	3,88 aA	3,86 aAB	3,76 aC	3,79 aBC	3,60 aD	3,74 aC
T2 - 14,1	3,84 aA	3,82 aAB	3,73 aC	3,75 aBC	3,58 aD	3,68 aC
T3 - 28,2	3,88 aA	3,87 aA	3,79 aB	3,82 aAB	3,64 aC	3,74 aB
T4 - 56,4	3,87 aA	3,83 aAB	3,75 aC	3,79 aBC	3,60 aD	3,72 aC
T5 - 84,6	3,87 aA	3,85 aA	3,75 aB	3,76 aB	3,62 aC	3,72 aB
	Eletrocondutividade média 10 a 20 cm (µs cm ⁻¹)					
T1 - 0	50,40 aB	53,60 aAB	63,20 aA	44,20 aBC	48,00 aBC	38,80 aC
T2 - 14,1	48,80 aBCD	55,80 aAB	64,80 aA	42,80 aCD	51,40 aBC	38,20 aD
T3 - 28,2	51,40 aBC	58,60 aAB	66,00 aA	46,00 aCD	50,40 aBCD	39,40 aD
T4 - 56,4	47,80 aBC	55,20 aAB	61,80 aA	44,80 aBC	51,40 aAB	37,60 aC
T5 - 84,6	56,80 aB	57,80 aB	73,40 aA	52,00 aB	54,00 aB	48,20 aB

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para colunas classificação com letras minúsculas e para linhas classificação com letras maiúsculas.

APÊNDICE 2 - MÉDIAS DOS TEORES DE FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ALUMÍNIO E SÓDIO, E VALORES pH E ELETROCONDUTIVIDADE NA PROFUNDIDADE 0 A 10 CM DO SOLO E TEORES DE POTÁSSIO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ALUMÍNIO, SÓDIO, E SÓDIO NA PROFUNDIDADE 10 A 20 CM DO SOLO, POR TRATAMENTO, APÓS APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE.

Característica	Tratamento (ton ha ⁻¹)				
	T1 - 0	T2 - 14,1	T3 - 28,2	T4 - 56,4	T5 - 84,6
Teor médio de P 0 a 10 cm (mg dm ⁻³)	1,31 a	1,37 a	1,33 a	1,46 a	1,25 a
Teor médio de K 10 a 20 cm (cmol _c dm ⁻³)	0,10 c	0,10 c	0,11 bc	0,12 ab	0,13 a
Teor médio de Ca 0 a 10 cm (cmol _c dm ⁻³)	0,95 ab	0,60 b	1,11 a	0,63 b	0,72 ab
Teor médio de Ca 10 a 20 cm (cmol _c dm ⁻³)	0,41 ab	0,22 b	0,51 a	0,29 ab	0,26 ab
Teor médio de Mg 0 a 10 cm (cmol _c dm ⁻³)	0,82 a	0,53 a	0,88 a	0,58 a	0,68 a
Teor médio de Mg 10 a 20 cm (cmol _c dm ⁻³)	0,30 a	0,18 a	0,31 a	0,24 a	0,26 a
Teor médio de Al 0 a 10 cm (cmol _c dm ⁻³)	3,25 a	3,76 a	3,20 a	3,51 a	3,33 a
Teor médio de Al 10 a 20 cm (cmol _c dm ⁻³)	3,91 a	4,30 a	3,95 a	3,94 a	3,76 a
Teor médio de Na 0 a 10 cm (cmol _c dm ⁻³)	0,018 b	0,021 a	0,020 ab	0,021 a	0,021 a
Teor médio de Na 10 a 20 cm (cmol _c dm ⁻³)	0,022 a	0,023 a	0,029 a	0,027 a	0,025 a
pH 0 a 10 cm	3,86 a	3,77 a	3,88 a	3,81 a	3,82 a
Eletrocondutividade média 0 a 10 cm (µs/cm)	53,5 a	54,56 a	56,1 a	58,56 a	64,53 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

APÊNDICE 3 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS ALUMÍNIO, CÁLCIO, ELETROCONDUTIVIDADE, POTÁSSIO, MAGNÉSIO, SÓDIO, FÓSFORO, pH, DOSE E ÉPOCA NAS PROFUNDIDADES 0 A 10 CM E 10 A 20 CM DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE.

	Al	Ca	EC	K	Mg	Na	P	pH	Dose	Época	Equação	R ²	
0 a 10 cm	Al	1											
	Ca	-0,62	1										
	EC	-0,24	0,35	1									
	K	-0,06	0,1	0,33	1								
	Mg	-0,59	0,84	0,4	0,06	1							
	Na	0,04	0	0,13	0,03	0,09	1						
	P	0,09	0,15	0,28	0,13	0,02	0,16	1					
	pH	-0,32	0,61	0,13	0,21	0,65	0,16	0	1				
	Dose	-0,02	-0,17	0,27	0,66	-0,08	0,14	-0,01	-0,04	1		? (K) = 9E-07x + 0,1112	0,97
	Época	-0,32	-0,1	-0,22	-0,21	-0,1	-0,02	-0,2	-0,55	0	1		
10 a 20 cm	Al	1											
	Ca	-0,19	1										
	EC	0,05	0,13	1									
	K	-0,09	0,22	0,1	1								
	Mg	-0,19	0,46	0,38	0,18	1							
	Na	0,1	0,39	0,13	0,23	0,19	1						
	P	0,1	0,26	0,17	0,23	0,11	0,48	1					
	pH	0,05	0,48	-0,01	0,36	0,46	0,22	0,09	1				
	Dose	-0,16	-0,15	0,16	0,45	0	0,04	0,03	0	1		? (K) = 4E-07x + 0,0991	0,92
	Época	-0,31	-0,32	-0,33	-0,18	-0,32	-0,18	-0,2	-0,7	0	1		

APÊNDICE 4 – MÉDIAS DOS TEORES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO NA FOLHA DE ERVA-MATE EM BASE SECA, POR TRATAMENTO, 210 DIAS APÓS APLICAÇÃO DE BORRA DE ERVA-MATE NO SOLO.

Características	Tratamento (ton ha ⁻¹)				
	T1 - 0	T2 - 14,1	T3 - 28,2	T4 - 56,4	T5 - 84,6
Teor médio de N na folha (g kg ⁻¹)	22,22 a	22,12 a	21,89 a	22,44 a	21,60 a
Teor médio de P na folha (g kg ⁻¹)	1,10 a	1,014 a	1,15 a	1,15 a	1,11 a
Teor médio de K na folha (g kg ⁻¹)	9,10 a	11,13 a	9,13 a	11,63 a	11,13 a
Teor médio de Ca na folha (g kg ⁻¹)	11,33 a	11,22 a	13,85 a	13,39 a	12,38 a
Teor médio de Mg na folha (g kg ⁻¹)	9,62 a	7,40 a	10,12 a	8,02 a	8,73 a
Tamanho médio do ramo (cm)	56,4 a	60,70 a	61,0 a	68,20 a	59,10 a
Produção média massa seca (g erva ⁻¹)	4,88 a	5,95 a	5,22 a	5,24 a	5,36 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

APÊNDICE 5 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE DOSE, FÓSFORO SOLO, POTÁSSIO SOLO, CÁLCIO SOLO, MAGNÉSIO SOLO, PH SOLO, NITROGÊNIO FOLHA, FÓSFORO FOLHA, POTÁSSIO FOLHA, CÁLCIO FOLHA, MAGNÉSIO FOLHA, TAMANHO RAMO E MASSA SECA DA FOLHA, 210 DIAS APÓS APLICAÇÃO DA BORRA DE ERVA-MATE NO SOLO.

	Dose	P solo	K solo	Ca solo	Mg solo	pH solo	N folha	P folha	K folha	Ca folha	Mg folha	Tamanho ramo	M.S. folha
Dose	1												
P solo	0,02	1											
K solo	0,88	0,17	1										
Ca solo	-0,22	0,16	-0,02	1									
Mg solo	-0,07	-0,2	-0,01	0,68	1								
pH solo	-0,05	-0,21	-0,02	0,79	0,79	1							
N folha	-0,08	-0,23	-0,16	-0,02	-0,12	-0,11	1						
P folha	0,09	0,47	0,33	0,39	0,4	0,17	0,15	1					
K folha	0,28	0,11	0,32	-0,62	-0,61	-0,68	0,13	0,12	1				
Ca folha	0,22	0,09	0,16	0,25	0,44	0,41	-0,26	0,21	-0,45	1			
Mg folha	-0,08	-0,35	-0,17	0,49	0,88	0,73	-0,03	0,2	-0,67	0,56	1		
Tamanho ramo	0,16	0,01	0,05	0,01	-0,2	-0,1	0,6	0,04	0,23	-0,08	-0,22	1	
M.S. folha	0,01	-0,44	-0,1	-0,44	-0,18	-0,17	-0,18	-0,48	0,08	0,02	-0,04	-0,35	1

ANEXO 1 – MÉTODOS EMPREGADOS NAS ANÁLISES DE SOLO

I) DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ ATIVA (pH CaCl_2 0,01 mol/L⁻¹)

Procedimento:

- 1- Com cachimbo volumétrico, transferir 10 cm³ de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) para frasco plástico e adicionar 25 mL de CaCl_2 0,01 mol/L;
- 2- Agitar em agitador circular por 15 minutos e deixar em repouso durante 40 minutos;
- 3- Efetuar leitura após calibração do potenciômetro com soluções padrão de pH 7,0 e pH 4,0;
- 4- Entre cada leitura, lavar o eletrodo com água deionizada, com auxílio de pisceta, e enxugá-lo levemente com papel toalha de textura fina.

Reagentes:

a) Solução de cloreto de cálcio 0,01 mol/L:

Dissolver 1,47 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em água deionizada e completar o volume para 1 litro. Deve-se misturar bem com um bastão de vidro e ajustar o pH para 5,5 com ácido acético.

II) DETERMINAÇÃO DE ACIDEZ POTENCIAL (pH SMP)

Procedimento:

- 1- Na mesma amostra que foi feito o $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, adicionar 5 ml de SMP;
- 2- Agitar em agitador circular por 15 minutos e deixar em repouso por uma noite;
- 3- No dia seguinte, agitar novamente (15 minutos) e deixar em repouso por 40 minutos;
- 4- Efetuar a leitura no potenciômetro;
- 5- Os teores de H^+ são obtidos em tabelas de correspondência com os valores de pH_{SMP} .

Reagentes:

a) Solução SMP

Em balão volumétrico de 1 litro, colocar, nesta ordem: 106,2 g de cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), 6,0 g de dicromato de potássio (K_2CrO_4), 4,0g de acetato de cálcio ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$) e 5,0 mL de trietanolamina. Acrescentar água. Separadamente, dissolver 3,6g de p-nitrofenol em cerca de 200mL de água quente, filtrando, se houver impurezas. Acrescentar esta solução ao balão volumétrico, completar o volume e agitar. No dia seguinte, ajustar o pH a 7,5 com NaOH 40% ou HCl 1+1. Manter a solução em refrigerador. Verificar ocasionalmente o pH, corrigindo se necessário (RAIJ e QUAGGIO, 1983).

III) EXTRAÇÃO DO Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} POR SOLUÇÃO KCl

Procedimento:

- 1- Com cachimbo volumétrico, transferir 10 cm^3 de TFSA para erlenmeyer de 125mL e adicionar 100mL de KCl 1mol/L;
- 2- Agitar em agitador circular por 5 minutos;
- 3- Deixar em repouso durante uma noite;
- 4- Pipetar 20 mL para determinação do $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. mL para determinação do Al^{3+} , 20 mL para determinação do Ca^{2+} e 20 mL para

Reagentes:

a) Solução de cloreto de potássio 1mol/L:

Dissolver 74,5 g de KCl em água deionizada e completar o volume para 1 litro.

IV) DETERMINAÇÃO DO Al TROCÁVEL

Procedimento:

- 1- Em 20 mL do extrato, adicionar 3 gotas de indicador Azul de Bromotimol;
- 2- Titular com solução de NaOH 0,02 mol/L até viragem de cor de amarelo-cítrico para azul.

Reagentes:

a) Solução de hidróxido de sódio 1,0 mol/L:

Em balão de 1000 mL dissolver uma ampola de NaOH e completar o volume com água deionizada.

b) Solução de hidróxido de sódio 0,02 mol/L:

Em balão de 1000 mL dissolver 20 mL de NaOH 1,0 mol/L e completar o volume com água deionizada.

c) Azul de Bromotimol:

a) Em balão de 100 mL colocar 1,0 mL de NaOH 1,0 mol/L; completar volume com água deionizada e agitar (NaOH 1%).

b) Pesar 0,2 g de azul de bromotimol: Colocar num gral de vidro e juntar 32 mL de NaOH 1%. Triturar até que a solução adquira cor verde. A seguir, passar para balão de 200 mL e completar volume com água deionizada.

V) DETERMINAÇÃO DO Ca e Mg ATRAVÉS DE ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA

Procedimento:

A solução da extração de KCl 1 M, foi diluída e adicionada solução de cloreto de estrôncio e feita a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica.

VI) DETERMINAÇÃO DO P DISPONÍVEL

Procedimento:

- 1- Em 5 mL do extrato, adicionar 10 mL de solução de molibdato e 1 pitada de ácido ascórbico ;
- 2- Agitar e deixar descansar por 30 minutos.
- 3- Ler em fotocolorímetro no comprimento de onda de 660 nm.

Reagentes:

a) Solução extratora Mehlich - 1

HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N, diluição de 1 : 10

b) Solução concentrada de molibdato

(A) Em balão de 2000 mL, adicionar cerca de 1000 mL de água deionizada, 300 mL de ácido sulfúrico concentrado e 4g de subcarbonato de bismuto. Resfriar.

(B) Dissolver 40 g de molibdato de amônio em aproximadamente 400 mL de água deionizada.

Adicionar lentamente a solução B na solução A, resfriar e completar volume com água deionizada.

c) Solução diluída de molibdato

Em balão de 1000mL, transferir 300mL da solução concentrada de molibdato de amônio e completar o volume com água.

d) Solução Base de 50 mg P/L

Em balão de 1000 mL, transferir 0,219 g de Fosfato de Potássio Monobásico (seco em estufa a 60 °C durante uma hora e resfriado em dessecador). Juntar cerca de 400 mL de água deionizada, 25 mL de ácido sulfúrico 7 N (196 mL para 1000 mL) e completar o volume com água deionizada.

e) Soluções padrão de P

Em balões de 100mL adicionar 0,6, 1,2, 1,8, 2,4, 3,0, 3,6, 4,2, 4,8, 5,4 e 6,0 ml da solução base de 50 mg P/L e completar o volume com água deionizada. As soluções resultantes terão, respectivamente, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 e 30 mg P/L.

Para a confecção da curva de calibração deve-se seguir o mesmo procedimento descrito acima para a determinação do P « disponível ».

VII) DETERMINAÇÃO DO K E Na DISPONÍVEL

Procedimento:

A dosagem do K é feita no restante do extrato, diretamente por espectroscopia de emissão de chama ou fotometria de chama. A fotometria de chama é destinada para análise de potássio, sódio, cálcio e lítio. Estes elementos podem ser excitados com um baixo nível de energia na forma de calor, permitindo então a emissão de radiações características. As radiações podem ser observadas pela mudança na coloração da chama. Uma mistura de ar e solução é aquecida, quando pulverizada na chama, fazendo com que os átomos sejam excitados e emitam radiações específicas. A radiação vinda dos átomos que se encontram na chama passa através de um filtro óptico que permite somente a radiação característica do elemento em investigação e chega a um fotocélula. O sinal de saída da fotocélula é medido por um galvanômetro adequado. Logo, é possível estabelecer uma calibração entre diferentes concentrações de solução padrão e emissão de radiação para um determinado elemento.

Reagentes:

a) Soluções padrão de K

(A) Em balão de 1000 mL, pesar 1,907 g de KCl p.a. (seco em estufa a 40 °C por uma hora). Completar o volume com água deionizada.

(B) Em balão de 1000 mL transferir 100 mL da solução A e completar o volume com água deionizada.

Em balões de 100 mL adicionar 0,5, 2,0, 4,0, 8,0, 12,0, e 20,0 mL da solução B e completar o volume com água deionizada. As soluções resultantes terão, respectivamente, 5, 20, 40, 80, e 120 mg K/L ou 0,0127, 0,0513, 0,1025, 0,2051, 0,3076 e 0,5116 cmol/L.

VIII) DETERMINAÇÃO ELETROCONDUTIVIDADE

Procedimento:

- 1- Com cachimbo volumétrico, transferir 10 cm³ de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) para frasco plástico e adicionar 20 g de água destilada;
- 2- Agitar em agitador circular por 60 minutos e deixar em repouso durante 12 horas;
- 3- Após repouso agitar novamente durante 15 minutos;
- 4- Aguardar 1 hora e realizar a leitura com o eletrocondutímetro no sobrenadante.