

DELMAR SANTIN

**PRODUTIVIDADE E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES
INFLUENCIADAS PELA CALAGEM, ADUBAÇÃO NPK E INTERVALOS DE
COLHEITA EM ERVA-MATE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

S235p
2013

Santin, Delmar, 1973-

Produtividade e disponibilidade de nutrientes influenciadas
pela calagem, adubação NPK e intervalos de colheita em erva-
mate / Delmar Santin. – Viçosa, MG, 2013.

ix, 104f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Nairan Félix de Barros

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Ilex paraguariensis*. 2. Erva-mate - Nutrientes. 3. Plantas
- Efeito do nitrogênio. 4. Plantas - Efeito do fósforo. 5. Plantas
- Efeito do potássio. 6. Erva-mate - Rendimento. 7. Adubos e
fertilizantes. 8. Solos ácidos. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação
em Nutrição de Plantas. II. Título.

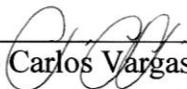
CDD 22. ed. 633.17

DELMAR SANTIN

**PRODUTIVIDADE E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES
INFLUENCIADAS PELA CALAGEM, ADUBAÇÃO NPK E INTERVALOS DE
COLHEITA EM ERVA-MATE**

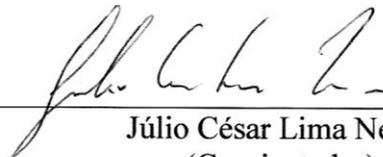
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 30 de janeiro de 2013.


Antônio Carlos Vargas Motta


Haroldo Nogueira de Paiva


Victor Hugo Alvarez V.


Júlio César Lima Neves
(Coorientador)


Nairam Félix de Barros
(Orientador)

Dedico

*Aos meus pais, irmãs e irmãos que sempre me apoiaram ao meu
retorno aos estudos e a caminhada acadêmica.*

*A Eliziane, pessoa especial, companheira e fundamental na trajetória
de minha caminhada acadêmica.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por oportunizar a experiência da vida.

Ao professor Nairam Félix de Barros pela confiança e por compartilhar de seu conhecimento e de sua experiência profissional e de vida.

Aos coorientadores, Ivar Wendling pelo empenho na definição das áreas experimentais, e ao Júlio César Lima Neves pela dedicação na estatística da tese.

Às empresas, Vier Indústria e Comércio do Mate L.TDA. na pessoa de Clóvis Luiz Büttgenbender, e à Baldo S/A na pessoa de Leandro Beninho Gheno, por proporcionarem recursos para viabilidade técnica na condução experimental de campo.

Aos proprietários, Domingos Santin de Anta Gorda – RS e Francisco Paluch de Prudentópolis – PR, por sediarem e manterem experimentos.

Ao Departamento de Engenharia Florestal (Laboratório de Painéis e Energia da Madeira), na pessoa de Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, ao auxílio analítico de amostras vegetais.

Ao professor Carlos Bruno Reissmann (UFPR) no incentivo em continuar pesquisando a cultura da erva-mate.

Ao Departamento de Solos – UFV, pela infra-estrutura.

A todos os professores pelo conhecimento transmitido.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial a Luciana, Claudinha, Cardoso, Beto, Poliana, Geraldo Viçor, Carlos Fonseca, Carlinhos e Jorge.

Aos funcionários da Vier Indústria e Comércio do Mate L.TDA, em especial, Joãozinho, Válder, José, Gemauro, Valdeir e Luizinho na dedicação aos trabalhos de campo.

Aos atuais e ex-funcionários da Baldo S/A, em especial, Morandi, Danilo, Gabriel, Laudemir, Fernandinho, Aline, Gustavo e Marcos pela confecção de material e auxílio a campo.

Aos funcionários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM – DEF/UFV) e ao colega Henrique ao auxílio laboratorial.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

Aos estagiários, Igor, Lucas, Guilherme, Marcelino e Greice pela grande ajuda laboratorial.

A Empresa Floresta no auxílio ao transporte de amostras.

Aos amigos que, numa conversa ou ao saborear um mate ou uma rodada de pizza permitiram momentos agradáveis de descontração. Em especial a Aline, Anderson, André, Bárbara, Carol, Caparelli, Gabriel, Edvânia, Mônica, Enio, Eric, Fernandinha, Ricardo, Mônica, Igor e Tati.

A companheira de todos os momentos, Eliziane, que nunca mediu esforços, em todas as fases experimentais e laboratoriais e compartilhando o dia a dia na fase de disciplinas da UFV.

Aos familiares e amigos pelo constante incentivo.

BIOGRAFIA

Delmar Santin é filho de Domingos Santin e Genoveva Canton Santin, nasceu em 15 de janeiro de 1973 no município de Anta Gorda – RS. Em 2001 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria - RS, onde se formou em 2006. Ano em que iniciou o mestrado em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Paraná – PR.

Em 2009 deu início ao doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa - MG, concluído em 2013.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPÍTULO 1	8
PRODUTIVIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTIOS COMERCIAIS DE <i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil. SUBMETIDOS A CALAGEM	8
INTRODUÇÃO	9
MATERIAL E MÉTODOS	10
RESULTADO E DISCUSSÃO	13
Características do solo.....	13
Produtividade e teores de Ca, Mg e Al da erva-mate.....	17
CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
APÊNDICE	31
CAPÍTULO 2	32
ADUBAÇÃO NITROGENADA E INTERVALOS DE COLHEITA NA PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DA ERVA-MATE EM FASE DE PRODUÇÃO	32
INTRODUÇÃO	33
MATERIAL E MÉTODOS	34
RESULTADO E DISCUSSÃO	38
Nitrogênio e carbono orgânico, lábil e total no solo	38
Produtividade e status nutricional de N da erva-mate.....	42
CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
APÊNDICES	54
CAPÍTULO 3	55
MANEJO DE COLHEITA E ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA DA ERVA-MATE (<i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil.) EM FASE DE PRODUÇÃO.....	55
INTRODUÇÃO	56
MATERIAL E MÉTODOS	57
RESULTADO E DISCUSSÃO	60
Fósforo disponível no solo	60
Produtividade e status nutricional de fósforo da erva-mate.....	62
CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICES	78

CAPÍTULO 4	79
PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DA ERVA-MATE INFLUENCIADAS PELA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E INTERVALOS DE COLHEITA	79
INTRODUÇÃO	80
MATERIAL E MÉTODOS	81
RESULTADO E DISCUSSÃO	84
Potássio trocável no solo	84
Produtividade e status nutricional de K da erva-mate.....	86
CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
APÊNDICES.....	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
CONCLUSÕES GERAIS	103

RESUMO

SANTIN, Delmar, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2013. **Produtividade e disponibilidade de nutrientes influenciadas pela calagem, adubação NPK e intervalos de colheita em erva-mate.** Orientador: Nairam Félix de Barros. Coorientadores: Júlio César Lima Neves e Ivar Wendling.

Cultura típica da América do Sul, a erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), apesar da histórica importância política, socioeconômica e cultural para a região Sul do Brasil, tecnologicamente tem apresentado pouca evolução. O extrativismo, ainda muito presente no sistema de cultivo, privilegia produção baseada na capacidade natural do solo em nutrir as plantas, modelo que tem contribuído para decréscimos expressivos da produtividade brasileira de erva-mate nas últimas décadas. Neste contexto, o trabalho objetivou avaliar a resposta da erva-mate e a disponibilidade de nutrientes no solo em cultivos manejados com diferentes intervalos de colheita e submetidos à calagem e adubação NPK. Para isto, instalaram-se seis experimentos em plantios em fase de produção, no espaçamento 2 x 2 m. Destes, três com calagem, sendo em São Mateus do Sul (SMS), Prudentópolis (Prud) – PR e Anta Gorda (AG) – RS, testando-se cinco doses de calcário dolomítico, correspondentes a 0,0,0,3, 0,6, 0,9 e 1,2 vezes da necessidade de calagem para atingir 100 % da saturação por bases. Em razão da aplicação superficial do calcário, utilizou-se 50 % das doses calculadas. Em SMS foram conduzidos outros três experimentos com doses crescentes (0, 20, 40, 80, 160, 320 kg ha⁻¹) de N, P₂O₅ e K₂O, e intervalos de colheitas de 12, 18 e 24 meses. Nos experimentos com calagem, após 18 meses, avaliou-se o pH e o teor de Al, Ca e Mg trocável no solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Nos experimentos com N, P e K avaliou-se a fertilidade do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. No experimento de N, avaliou-se teor de N e carbono orgânico (CO) nas formas lábil (NL e COL) e total (NT e COT). Nos experimentos de P e K analisou-se o solo para o nutriente em estudo. Em todos os experimentos quantificou-se a produtividade de matéria verde de folha (FO), galho fino (GF) e de erva-mate comercial (COM= FO+GF). Nos experimentos com calagem determinou-se o teor total de Ca, Mg e Al em FO e GF e, nos demais, o nutriente em estudo na FO, GF, galho grosso (GG) e na COM e calculados seus respectivos conteúdos. A calagem proporcionou ganhos de produção entre 21 a 27 %, quando o Ca e Mg estavam disponíveis, respectivamente, entre 5,0-6,0 e 2,5-3,5 cmol_c dm⁻³ na camada superficial do solo. Solos com disponibilidade natural

de Ca em nível alto podem fornecer produto mais rico em Ca e mais pobre em Al. A erva-mate respondeu positivamente ao N, P e K, com aumento da produção de todos os componentes avaliados. A resposta à adubação e a exigência nutricional da planta, de cada nutriente testado, aumentam à medida que aumenta o intervalo de colheita, justificando a reposição de nutrientes por meio de adubações. Intervalos de colheita de 12 meses não permitem a plena recuperação da planta, mesmo quando esta está bem nutrida, em razão da remoção da copa. Intervalos entre colheitas de 18 e 24 meses proporcionam ervais mais produtivos e mais eficientes no uso de nutrientes.

ABSTRACT

SANTIN, Delmar, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2013. **Yield and nutrient availability of mate stands as affected by liming, NPK fertilization and harvesting intervals** Adviser: Nairam Félix de Barros. Co-advisers: Júlio César Lima Neves and Ivar Wendling.

Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) is a typical plant of South America, and despite its historical political, social, economic and cultural importance very little technical advance has been observed in the last years. The current planting system is mainly based on extractivism by which the exported nutrients are not replenished and continuous decrease in productivity has been observed. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of liming, NPK fertilization and harvesting intervals on mate yield and plant nutrient content and on soil fertility. Six trials were laid out in the field in mate plantations in the 2 x 2 m spacing. The liming study was set in three different sites, and lime supplied at rates corresponding to 0; 0,3; 0,6; 0,9 and 1,2 times the liming need to saturate 100% of the base exchange capacity. Because the lime was broadcast on soil surface, only half of each dose was applied. The study of NPK rates was conducted in one of these sites, and consisted of doses of 0; 20; 40; 60; 120 and 240 kg ha⁻¹ of N, or P₂O₅ or K₂O. In each case, the harvesting intervals were: 12, 18 or 24 months. In the liming trial, soil pH, and content of Ca, Mg and Al, in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers, were determined 18 months after treatment application. In the NPK studies, soil was sampled at 0-10; 10-20 and 20-40 cm depths and analyzed for the respective nutrient tested. In the N trial, the labile and total fractions N and C were analyzed. In all trials, mate leaf, small branches and commercial components (leaf + small branches) yield and plant nutrient content were determined. Mate yield was increased from 21 to 27% by lime rates which rose Ca and Mg soil content to levels considered high by mate growers. Liming reduced Al content in the plant. Mate yield increased with N, P and K rates, especially in longer harvesting intervals. Plant recovering is not complete for harvesting interval of 12 month. Harvesting intervals are recommended for higher yield and for more efficient nutrient utilization by the mate plants.

INTRODUÇÃO GERAL

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie arbórea de ocorrência natural da América do Sul, e que no Brasil está presente na Região Sul (Oliveira e Rotta, 1985; Carvalho, 2003). A difusão do seu consumo como bebida data de 1592, quando os descobridores da América observaram, entre os índios guaranis, o hábito comum de mascar ou beber chá de folhas secas da planta. Ela é consumida na forma de chimarrão, mate queimado e tereré principalmente pela população sulina (Carvalho, 2003). Apesar de distar alguns séculos da descoberta de seu consumo e ter sido marco econômico na emancipação política do estado do Paraná (Costa, 1995; Deitos, 2007) e de muitos municípios de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (Lima, 2007), a evolução tecnológica na cultura da erva-mate tem sido muito lenta. Até o momento não existem critérios confiáveis para recomendação de adubação para a cultura. Isso tem refletido no declínio da produtividade brasileira de erva-mate nos últimos 21 anos (IBGE, 2012), a qual estará comprometida em médio prazo, caso persista o atual panorama.

Em sua condição natural, a erva-mate ocorre predominantemente em solos de baixa fertilidade (Carvalho, 2003). Nesta condição, colheitas efetuadas em períodos de 36 a 48 meses de plantas esparsas em meio à mata, até meados da década de 80 do século passado, mantinham os ervais¹ nativos produtivos, pois a ciclagem de nutrientes os sustentava nutricionalmente. Mas a substituição de grande parte das florestas nativas, principalmente por culturas anuais, reduziu drasticamente os ervais nativos. No intuito de atender à demanda de matéria prima ocorreu o aumento da densidade de plantas por área e a redução do intervalo de tempo entre colheitas. As reduzidas áreas de matas com ervais nativos foram manejadas pela introdução novas plantas de erva-mate, originando os ervais de adensamento (Andrade, 2002). Também foram intensificados os plantios a pleno sol com densidade que superava 3300 plantas ha⁻¹ (Da Croce e Floss, 1999) e o intervalo entre colheitas reduzido, de 18 e 12 meses (Da Croce, 1997).

A mesma preocupação, verificada na intensificação de colheitas, não foi constatada na manutenção da fertilidade dos solos. Raros foram os experimentos de campo sobre o emprego de corretivos e fertilizantes, sendo, assim, insuficientes para elaboração de uma recomendação de adubação adequada à cultura.

¹ Denominação dada a cultivos de erva-mate, independente do tipo, como erval nativo, a pleno sol de adensamento e outros.

A nutrição inadequada pode ser considerada uma das principais causas da produtividade brasileira de erva-mate ter passado de 17,3 t ha⁻¹ em 1990 para 6,2 t ha⁻¹ em 2011 (IBGE, 2012), já que a reposição dos nutrientes exportados pela colheita raramente é efetuada. Como o produto colhido da erva-mate é constituído basicamente por folhas e galhos finos, Reissmann et al. (1985) alertaram que a exportação de nutrientes da área era expressiva e que medidas de reposição nutricional seriam necessárias. Em 2004 foi lançada a recomendação de adubação e calagem para a cultura da erva-mate para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS/SC, 2004). A expectativa era que a produtividade pudesse ser aumentada, já que ela varia de valores inferiores a 6,0 até maiores que 12,0 t ha⁻¹ de erva-mate verde. Contudo, as doses máximas de reposição de 90, 20 e 100 kg ha⁻¹, respectivamente, de N, P₂O₅ e K₂O recomendadas para cultivos em fase de produção (CQFSRS/SC, 2004), aplicadas no intervalo de cada colheita, dificilmente proporcionarão colheitas acima de 12 t ha⁻¹. Isso porque, em média, o produto colhido é composto de 70 % de folhas (Santin et al., 2011), sendo comumente teor foliar de N e P, respectivamente de 26,6 e 1,5 g kg⁻¹ (Pandolfo et al., 2003) e 17,0 g kg⁻¹ de K (Reissmann et al., 1999). Mesmo as doses máximas recomendadas seriam insuficientes para repor os nutrientes exportados por colheitas superiores a 12 t ha⁻¹ de erva-mate verde.

Produtividades mais elevadas dependeriam da capacidade natural do solo em disponibilizar nutrientes para as plantas. No caso do P, doses de 20 kg ha⁻¹ P₂O₅ aplicadas no intervalo de 12 ou 18 meses dificilmente aumentarão a disponibilidade do nutriente no solo em teores suficientes para aumentar a produtividade do cultivo, quando a disponibilidade de P for muito baixa. Neste contexto, mesmo que a atual recomendação de adubação contemple colheita superior a 12 t ha⁻¹ de erva-mate verde (CQFSRS/SC, 2004), ela ficaria abaixo da produtividade média brasileira de 17,3 t ha⁻¹ de 1990 (IBGE, 2012) e muito inferior as 35,7 t ha⁻¹ ano⁻¹ verificada por Lourenço (1997) em cultivos no Estado do Rio Grande do Sul. Ainda que a espécie ocorra em solos de baixa fertilidade natural (Carvalho, 2003), há possibilidade de resposta positiva à adubação acima das maiores doses recomendada para a cultura. Essa hipótese foi confirmada por Santin (2008), que observou aumento linear da produtividade em cultivo de adensamento em fase de produção, mesmo sendo a maior dose de NPK testada 50 % superior ao recomendado para a cultura (CQFSRS/SC, 2004).

Até o momento os experimentos sobre adubação de cultivos de erva-mate em fase de produção são raros. Para a calagem, a resposta negativa em fase de estabelecimento

de plantio (Reissmann et al., 1997) é o único relato para a cultura. Aumento de produtividade de erva-mate com adubação nitrogenada foi observado por Lourenço et al. (1997), Pandolfo et al. (2003) e Prat Kricun e Belingheri (1995). A mesma resposta não foi verificada para doses de P (Pandolfo et al., 2003). Aumento linear da produtividade com doses anuais de 120 kg ha⁻¹ de K₂O foi obtido por Lourenço et al. (1999). Contudo, Pandolfo et al. (2003), ao acompanhar um cultivo por cinco anos sucessivos com adição de doses de K, observaram que nem todos os anos ocorria resposta da planta a adubação.

Ainda que os experimentos realizados até o momento não tenham gerado ciência para o setor produtivo dessa cultura, o setor de tecnologia de alimentos, farmácia e medicina tem revelado, nos últimos anos, inúmeras descobertas que poderão estimular o consumo de produtos derivados de erva-mate. Dentre elas, destaca-se seu alto poder antioxidante, que pode proteger contra os efeitos deletérios de radicais livres, aumentando, assim, o sistema de defesa do organismo (Filip et al., 2007; Valerga et al., 2012). Benefícios à saúde, como prevenção a doenças cardiovasculares (Mosimann et al., 2005) e do diabetes (Hermmerle et al., 1997; Lunceford e Gugliucci, 2005); ação hipocolesterolêmica (Stein et al., 2005; Gorgenet al., 2005; Gosmann et al., 2012), antimicrobiano (Tsai et al., 2010; Carelli, et al., 2011), antiviral (Lückemeyer et al., 2012) e anti-inflamatória aos expostos a fumaça de cigarro (Lanzetti et al., 2012); auxílio no tratamento da obesidade (Martinet et al., 1999; Arçari et al., 2009) e da doença de Parkinson (Milioli et al., 2007); inibição de células cancerígenas (Mejía et al., 2010) e redução do risco de trombose (Dahmer et al., 2012) permitem que a erva-mate seja enquadrada como alimento funcional de produto alimentício saudável (Anvisa, 2010). Essas características de produtos alimentícios são almejadas pelo mercado consumidor mundial o que tende a aumentar a procura pela erva-mate (Ikeda, 2010).

Os indicadores quanto ao aumento na demanda por produtos derivados de erva-mate são positivos. Contudo, a redução de mais de 60 % da produtividade brasileira de erva-mate nos últimos 21 anos (IBGE, 2012) põe em dúvida se o Brasil teria capacidade de atender a uma demanda de matéria prima maior que a atual. Diante disto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a resposta da erva-mate e a disponibilidade de nutrientes no solo em cultivos manejados com diferentes intervalos de colheita e submetidos à calagem e adubação NPK.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. M. **Exploração, manejo e potencial socioeconômico da erva-mate.** In: SIMÕES, L. P.; LINO, C. F. (Org.). *Sustentável mata atlântica: a exploração de seus recursos florestais*. 2. ed. São Paulo: Editora SENAC, 2002. p. 19-34.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Alegações de propriedade funcional aprovadas.** Disponível em: < <http://portal.anvisa.gov.br/> >. Acesso em 17 de março de 2010.

ARÇARI, D. P.; BARTCHEWSKY, W.; SANTOS, T. W.; OLIVEIRA, K. A.; FUNCK, A. PEDRAZZOLI, J.; SOUZA, M. F. F.; SAAD, M. J.; BASTOS, B. H. M.; GAMBERO, A.; CARVALHO, P. O.; RIBEIRO, M. L. Anti obesity effects of yerba mate extract (*Ilex paraguariensis*) in High-fat diet-induced obese mice. **Obesity**,17:2127-2133, 2009.

CARELLI, G.; MACEDO, S. M. D.; VALDUGA, A. T.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V.; FRANCESCHI, E.; VIDAL, R.; JASKULSKI, M. R. Avaliação preliminar da atividade antimicrobiana do extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. - Hil.) obtido por extração com CO₂ supercrítico. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 13:110-115, 2011.

CARVALHO, P. H. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

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

COSTA, S. G. **A erva-mate.** Curitiba: Coleção Farol do Saber, 1995. 132p.

DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. *Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina.* Florianópolis: Epagri, 1999. (**Boletim Técnico, 100**).

DA CROCE, D. M. *Poda de erva-mate: novos métodos desenvolvidos pela EPAGRI.* In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997. p.351-357.

DAHMER, T.; BERGER, M.; BARLETTE, A. G.; RECK JR, J.; SEGALIN, J.; VERZA, S.; ORTEGA, G. G.; GNOATTO, S. C. B.; GUIMARÃES, J. A.; VERLI, H.; GOSMANN, G. Antithrombotic Effect of Chikusetsusaponin IVa Isolated from *Ilex paraguariensis* (Maté). **Journal of Medicinal Food**,15:1-8, 2012.

DEITOS, N. J. **Considerações históricas da erva-mate no espaço meridional.** In: ROCHA Jr., W.; MILOCA, L. M. *Sistema agroindustrial ervateiro: perspectivas e debates.* Cascavel: Coluna do Saber, 2007. p. 13-26.

FILIP, R.; SEBASTIAN, T.; FERRARO, G.; ANESINI, C. Effect of *Ilex* extracts and isolated compounds on peroxidase secretion of rat submandibular glands. **Food and Chemical Toxicology**, 45:649-655, 2007.

GORGEN, M.; TURATTI, K.; MEDEIROS, A. R.; BUFFON, A.; BONAN, C. D.; SARKIS, J. J.; PEREIRA, G. S. Aqueous extract of *Ilex paraguariensis* decreases nucleotide hydrolysis in rat blood serum. **Journal of Ethnopharmacology**, 97:73-77, 2005.

GOSMANN, G.; BARLETTE, A. G.; DHAMER, T.; ARÇARI, D. P.; SANTOS, J. C.; CAMARGO, E. R.; ACEDO, S.; GAMBERO, A.; GNOATTO, S. C. B.; RIBEIRO, M. L. Phenolic compounds from maté (*Ilex paraguariensis*) inhibit adipogenesis in 3T3-L1 preadipocytes. **Plant Foods for Human Nutrition**, 67:156-161, 2012.

HERMMERLE, H.; BURGER, H. J.; BELOW, P.; SCHUBERT, G.; RIPPEL, R.; SCHINDLER, P. W.; PAULUS, E.; HERLING, A. W. Chlorogenic acid and synthetic chlorogenic acid derivatives: novel inhibitors of hepatic glucose-6-phosphate translocase. **Journal of Medicinal Chemistry**, 17:137-145, 1997.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2010**. IBGE, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2012.

IKEDA, A. A.; MORAES, A.; MESQUITA, G. Considerações sobre tendências e oportunidades dos alimentos funcionais. **Revista P & D Engenharia de Produção**. 8:40-56, 2010.

LANZETTI, M.; BARROSO, M. V.; NESI, R. T.; LOPES, A. A.; TRAJANO, E. T. L.; ALVES, J. N.; BROGLIATO, A. R.; BORGES, P. A.; BENJAMIM, C. F.; PORTO, L. C.; VALENCA, S. S. Ready-to-drink matte® tea shows anti-inflammatory and antioxidant properties on a cigarette smoke exposure model. **Food Research International**, 48: 798-801, 2012.

LIMA, J. F. **A gênese do ciclo da erva-mate: notas de interpretação econômica**. In: ROCHA JUNIOR, F.; MILOCA, L. M. Sistema agroindustrial ervateiro: perspectivas e debates. Cascavel: Coluna do Saber, 2007. p. 27-32.

LOURENÇO, R. S. Adubação da erva-mate. In: I CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE II REUNIÃO TÉCNICA DO CONESUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE. Curitiba, 1997, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p. 299-315.

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. G.; MEDRADO, M. J. S. Avaliação de níveis de nitrogênio sobre a produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro, PR, em Latossolo Vermelho escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 34:75-98, 1997.

LUNCEFORD, N.; GUGLIUCCI, A. *Ilex paraguariensis* extracts inhibit AGE formation more efficiently than green tea. **Fitoterapia**, 76:419-427, 2005.

LÜCKEMEYER, D. D.; MÜLLER, V. D. M.; MORITZ, M. I. G.; STOCO, P. H.; SCHENKEL, E. P.; BARARDI, C. R. M.; REGINATTO, F. H.; SIMÕES, C. M. O. Effects of *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Yerba Mate) on herpes simplex virus types 1 and 2 replication. **Phytotherapy Research**, 26:535-540, 2012.

MARTINET, A.; HOSTETTMANN, K.; SCHUTZ, Y. Thermogenic effects of commercially available plant preparations aimed at treating human obesity. **Phytomedicine**, 6:231-238, 1999.

MEJÍA, E. G.; SONG, Y. S.; HECK, C. I.; RAMÍREZ-MARES, M. V. Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): Phenolics, antioxidant capacity and in vitro inhibition of colon cancer cell proliferation. **Journal of Functional Foods**, 2:23-34, 2010.

MILIOLI, E. M.; COLOGNI, P.; SANTOS, C. C.; MARCOS, T. D.; YUNES, V. M.; FERNANDES, M. S.; SCHOENFELDER, T.; COSTA-CAMPOS, L. Of *Ilex paraguariensis* St Hilaire (Aquifoliaceae) in animal models of Parkinson's disease. **Phytotherapy Research**, 21:771-776, 2007.

MOSIMANN, A. L. P.; WILHELM FILHO, D.; SILVA, E. L.; Aqueous extract of *Ilex paraguariensis* attenuates the progression of atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits. **Bio Factors**, 23:9-20. 2005.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: **SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS**. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). 1983, Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985, p. 17-36.

PANDOLFO, M. C.; FLOSS, P. A.; Da CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho alumino férrico. **Ciência Florestal**, 13:37-45, 2003.

PRAT KRICUN, S. D.; BELINGHERI, L. D. **Aplicación de nitrógeno em plantaciones de yerba mate con diferentes densidades**. In: WINGE, H.; FERREIRA, A. G.; MARIATH, J. E. de. A.; TARASCONI, L. C. Erva-mate biologia e cultura no cone sul. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995, p. 73-79.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O.; HILDEBRAND, E. E. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Curitiba, 1985, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985. p.128-139.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; DE QUADROS, R. M. B.; RADOMSKI, M. I. Production and foliar N, P, K, Ca and Mg levels in erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), related to increasing base saturation levels. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 40:241-249, 1997.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. Under different management conditions in seven localities of Paraná State. Bras. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 42:187-194, 1999.

SANTIN, D. **Produtividade, teor de minerais, cafeína e teobromina em erva-mate adensada e adubada quimicamente**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SANTIN, D.; WENDLING, I.; MORANDI, D.; DOMINGOS, D. M.; BENEDETTI, E. L. Produtividade de erva-mate com mudas produzidas por miniestacas juvenis e por sementes. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5. Posadas, 2011, **Anais...** Posadas: INYM/ INTA/INaM, 2011. p.85-90.

STEIN, F. L. P.; SCHMIDT, B.; FURLONG, E. B. Vascular responses to extractable fractions of *Ilex paraguariensis* in rats fed standard and high-cholesterol diets. **Biological Research**, 7:146-156, 2005.

TSAI, T. H.; TSAI, T. H.; WUC, W. H.; TSENG, J. T. P.; TSAI, P. J. In vitro antimicrobial and anti-inflammatory effects of herbs against *Propioni bacterium acnes*. **Food Chemistry**, 119:64-968, 2010.

VALERGA, J.; RETA, M.; B, LANARI, M. C. Polyphenol input to the antioxidant activity of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extracts. **Food Science and Technology**,45:28-35, 2012.

CAPÍTULO 1
PRODUTIVIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTIOS COMERCIAIS DE *Ilex*
***paraguariensis* St. Hil. SUBMETIDOS A CALAGEM**

INTRODUÇÃO

A calagem é uma prática que visa principalmente reduzir a acidez e aumentar a disponibilidade de Ca e Mg no solo (Tedesco e Bissani, 2004; Sousa et al., 2007) e amplamente utilizada em culturas agrícolas (Bissani et al., 2004). A erva-mate, por sua ocorrência natural em solos ácidos (Carvalho, 2003), é pouco influenciada pela acidez do solo, porém, necessita de um adequado suprimento em Ca e Mg.

A ocorrência natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) restringe-se às regiões subtropicais da América do Sul (Oliveira e Rota, 1985), e no Brasil se destaca economicamente nos três Estados da região Sul (Carvalho, 2003), onde é cultivada predominantemente em pequenas e médias propriedades rurais (Gazeta, 1999). A erva-mate teve por longas décadas o chimarrão, o tereré e o chá como sua principal forma de consumo (Carvalho, 2003). Porém, teores relevantes de polifenóis, alcalóides, saponinas, taninos, aminoácidos, vitaminas e outros compostos (Valduga, 1995) fizeram com que a erva-mate recebesse o status de produto alimentício saudável com propriedades funcionais (Tsai et al., 2010; Mejía et al., 2010; Anesini et al., 2012, Gosmann et al., 2012; Lückemeyer et al., 2012). O potencial de aumento da demanda da erva mate contrasta com o baixo nível tecnológico adotado no cultivo da planta, que tem levado a baixas produtividades.

Apesar da importância econômica e cultural da erva-mate na Região Sul Brasileira (Gazeta, 1999), poucas pesquisas foram realizadas até o momento para melhoria da produtividade e qualidade da matéria prima. A atual recomendação de adubação e calagem para a erva-mate (CQFSRS/SC, 2004), leva a quantidades de insumo insuficientes para que a cultura atinja o seu potencial produtivo. A redução de mais de 60 % da produtividade nas últimas duas décadas (IBGE, 2012) pode ser reflexo do baixo investimento em pesquisa no cultivo da essência.

Pouco se conhece, por exemplo, sobre a demanda nutricional da erva-mate. Quanto a calagem, estudos a campo demonstraram respostas negativas (Reissmann et al., 1997), enquanto resposta positiva a pequenas doses de calcário foi observada em mudas (Santin et al., 2013). Como é frequente verificar em ervais, solos com pH menor de 4,0, teor de Al^{3+} maior que $7,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e teores de Ca e Mg, respectivamente, menores de 0,5 e $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Santin, 2008), a recomendação de 1 t ha^{-1} de calcário (CQFSRS/SC, 2004), dificilmente alteraria o teor de Ca e Mg trocável nesses solos. Por outro lado, ervais que ocorrem naturalmente em solos com boa disponibilidade de Ca e Mg podem apresentar maior requerimento por esses nutrientes, quando comparada a de

ervais adaptados a solos extremamente ácidos. Estudos relacionando a morfologia foliar e composição química de plantas de erva-mate têm chamado a atenção de alguns pesquisadores, que os denominam morfotipos (Reissmann et al., 2003; Borille et al., 2005). Diferença entre morfotipos, no teor foliar de clorofila (Reissmann et al., 2003), teobromina e tanino (Borille et al., 2005) na mesma condição de solo, sugerem que a erva-mate pode diferir em teores de compostos químicos e de nutrientes entre plantas.

A ação da calagem, normalmente, é mais efetiva quando o calcário é incorporado ao solo, pois a frente alcalinizante avança lentamente para camadas mais profundas do perfil (Kaminski et al., 2005). Quando a calagem é realizada superficialmente em solos com estrutura natural preservada, sua ação pode ocorrer até profundidades maiores, principalmente pelo deslocamento de partículas finas de calcário por bioporos criados por raízes e pela macrofauna do solo (Petrere e Anghinoni 2001; Gatiboni et al., 2003; Amaral et al., 2004), o que concorre para aumentar a eficiência da calagem. Diante disso, investigou-se em ervais em plena produção e estabelecidos em diferentes locais o efeito da calagem em propriedades do solo, na produtividade e no status nutricional da erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

Em julho de 2010, foram instalados três experimentos na região sul do Brasil: um em São Mateus do Sul (SMS), um em Prudentópolis (Prud) no Paraná e um terceiro em Anta Gorda (AG) no Rio Grande do Sul. Os três locais estão situados em pólos produtores de erva-mate e apresentam propriedades distintas de solo (Quadro1).

O clima dos municípios de São Mateus do Sul e Prudentópolis, de acordo com a classificação de Köppen, caracteriza-se como temperado (Cfb) (IAPAR, 1994). Os principais tipos de solo da região são o Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro e Cambisolos. O relevo do município de São Mateus do Sul é ondulado a fortemente ondulado, com altitude variando de 800 m até 1000 m, precipitação média anual entre 1400 e 1500 mm, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C e a média do mês mais frio superior a 10 °C. Em Prudentópolis a temperatura mínima varia de 11 a 13 °C, a máxima de 23 a 25 °C, a precipitação média anual entre 1400 a 1600 mm e altitude de 400 m até 1080 m (Castella e Britez, 2004). Em Anta Gorda, pela classificação de Köppen, o clima é Cfa, subtropical, com temperatura média do mês mais frio compreendida entre 3 e 18 °C, temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e precipitação média anual de 1800 mm (Moreno, 1961). Na região predomina

relevo ondulado a montanhoso, com altitudes variando de 200 a 800 m (Brasil, 1973) e os solos predominantes na região são Neossolos Litólicos, Chernossolos Argilúvicos e Cambissolos (Streck et al., 2002).

Quadro 1. Teor de argila e propriedades químicas do solo de 0 a 20 cm de profundidade nos locais dos experimentos

Local	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC _{pH7,0}	K	P	MO	V	m	Argila
	CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----		- mg dm ⁻³ -		----- % -----			
SMS	3,8	6,04	16,3	0,36	0,20	17,0	47	2,7	5,0	4,0	89,9	76
Prud	3,5	4,60	11,8	0,90	0,90	13,6	35	1,1	4,7	13,5	71,6	55
AG	4,4 ¹	1,20	7,7	5,60	0,60	14,4	104	61,0	2,6	45,0	15,3	22

¹pH em H₂O. Extrator: Mehlich-1: P e K; KCl: Ca, Mg e Al; SMP: H+Al.

Os plantios da erva-mate dos três locais, estabelecidos com mudas propagadas por semente coletadas de matrizes em cada local no espaçamento de 2 x 2 m, nos anos de 2001, 1992 e 1999, respectivamente, em SMS, Prud e AG. Os ervais de SMS e de Prud foram estabelecidos a partir da remoção de quase a totalidade da mata. Já em AG, antes do plantio, a área foi cultivada no sistema convencional com culturas agrícolas por, aproximadamente, 25 anos e, após o plantio até o quarto ano, cultivou-se feijão utilizando-se adubação fosfatada a base de superfosfato triplo. As áreas nunca receberam calagem e o intervalo de colheita antes da instalação dos experimentos era de 18, 24 e 24 meses, para São Mateus do Sul, Prudentópolis e Anta Gorda, respectivamente. A produtividade de erva-mate comercial verde colhida em julho de 2010 foi de 20,5, 13,9 e 25,1 kg ha⁻¹, respectivamente, para SMS, Prud e AG.

Em cada local, considerou-se um experimento individual. Cada unidade experimental foi composta por uma parcela contendo seis plantas úteis com duas linhas como bordadura. Os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos casualizados com cinco repetições.

Testaram-se cinco doses de calcário dolomítico (Quadro 2), calculadas para que a saturação por bases do solo atingisse: 0 (natural), 30, 60, 90 e 120 %. Utilizou-se 50 % da dose recomendada visto que o calcário não foi incorporado ao solo. A quantidade (Quadro 2) foi calculada de acordo com a análise de solo (Quadro 1), conforme a fórmula: NC (t/ha) = (CTC_{pH7,0} (V2-V1))/100, onde: NC= necessidade de calcário, em t ha⁻¹; CTC_{pH7,0} = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + (H + Al); V2= percentagem de saturação por bases desejada e V1= percentagem de saturação por bases do solo. O calcário possuía PRNT de 99 % e teores de CaO e MgO, respectivamente, de 33,2 e 22,4 %. No intuito de repor nutrientes exportados pela colheita, a dose de adubação complementar de cada

local, com N (nitrato de amônio), P (superfosfato triplo) e K (cloreto de potássio) variou conforme a produtividade e fertilidade do solo de cada local. Para SMS e Prud as doses de N, P₂O₅ e K₂O foram respectivamente de 142, 100 e 198; e 70, 140 e 198 kg ha⁻¹. Para AG, como a disponibilidade de P no solo estava em nível muito alto (CQFSRS/SC, 2004) não foi aplicado P₂O₅, e as doses de N e K₂O foram de 280 e 206 kg ha⁻¹, respectivamente. Em todos os locais o calcário foi aplicado em julho de 2010, superficialmente em área total, e os fertilizantes foram parcelados em três aplicações superficiais, na área de projeção da copa, sempre nos meses de setembro e janeiro.

Quadro 2. Dose de calcário aplicada em ervais em produção nas áreas experimentais

Tratamento	São Mateus do Sul	Prudentópolis	Anta Gorda
	Dose de calcário ¹ aplicada		
	----- t/ha -----		
V % natural	0,0	0,0	0,0
V 30 %	2,2	1,1	0,5 ²
V 60 %	4,8	3,2	1,1
V 90 %	7,3	5,2	3,2
V 120 %	9,9	7,3	5,4

¹ Doses para atingir 50 % da saturação por bases (V %) pretendida, considerando PRNT de 100 %; e ² como a saturação por bases natural do solo de Anta Gorda era de 45 %, aplicou-se 50 % da dose para elevar a 60 % desta.

A limpeza das áreas foi realizada com roçadas manuais, três vezes ao ano, sendo que no momento da instalação dos experimentos havia cobertura morta sobre o solo. Em SMS e AG a cobertura vegetal era mínima e em Prud havia uma espessa camada de gramíneas indecompostas.

Em janeiro de 2012, 18 meses após a aplicação do calcário, efetuou-se a colheita, podando-se os galhos 10 a 15 cm acima da última poda, o que correspondeu a, aproximadamente, 95 % da matéria verde que cresceu a partir da última colheita. Com facão, sobre uma lona, separou-se a erva-mate comercial (folha+galho fino) do galho grosso, os quais foram pesados no local. Considerou-se como galho fino os que apresentaram diâmetro inferior a 7 mm. Para quantificar folhas e galhos finos, retirou-se uma amostra representativa da erva-mate comercial, que foi posteriormente separada e pesada individualmente em folhas e galhos finos.

No momento da colheita, em cada parcela retirou-se uma amostra de solo composta por 15 amostras simples, coletadas com pá de corte em três pontos na área da projeção da copa de cinco plantas, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Após secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm, as amostras foram analisadas quimicamente para determinar o teor de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocável e o pH do solo.

Antes da poda coletaram-se, na metade da altura da copa, brotos representativos da erva-mate comercial para análise química. A amostra foi separada em folhas e galhos finos. Após quantificar a matéria verde, o material vegetal foi lavado, seco em temperatura de 65 °C até peso constante e quantificada a massa de matéria seca. As folhas e galhos finos foram moídos em moinho tipo Wiley com peneira de 0,5 mm de abertura e, posteriormente, determinados os teores totais de Ca, Mg e Al.

Nas amostras de solo, o pH foi determinado em H₂O (1:2,5 v/v); H+Al extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; Ca, Mg e Al trocáveis, extraídos com KCl 1,0 mol L⁻¹ (1:10 v/v) (De Filippo e Ribeiro, 1997) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975).

O material vegetal foi mineralizado pela mistura nítrico-perclórica. Os teores de Ca, Mg e Al foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Tedesco et al., 1995). Além da quantificação de folhas (FO), galhos finos (GF) e erva-mate comercial (COM) verde, calculou-se a relação entre FO/GF e conteúdo de Ca e Mg na COM.

A eficiência de utilização de Ca e Mg (EUN) foi calculada pela razão entre matéria seca da COM e o conteúdo de nutrientes acumulados (kg kg⁻¹) (Barros et al., 1986).

Na análise estatística das características do solo, os fatores dose e profundidade compuseram parcela e subparcela, respectivamente. Os dados foram submetidos à Anova adotando-se o nível de 5 % de probabilidade ($p < 0,05$) e os efeitos de dose submetidos à análise de regressão e as de profundidade, quando pertinente, submetidos à comparação de médias pelo teste de Tukey. Para as características do solo, no desdobramento das interações entre o fator da parcela e subparcela, no sentido de avaliar o efeito da subparcela dentro da parcela, adotou-se como erro o quadrado médio do resíduo combinado e o respectivo número de graus de liberdade, conforme Satterthwaite (1946).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Características do solo

A calagem afetou o pH em água e os teores de Ca, Mg e Al trocáveis do solo dos três locais, sendo a ação do calcário maior na camada superficial do solo (Figuras 1 e 2).

O valor máximo de pH, na camada de 0-5 cm, ocorreu na maior dose de calcário, sendo de 5,6, 5,5 e 6,2, respectivamente, para SMS, Prud e AG (Figuras 1a, b, c). Na

camada de 10-20 cm a calagem não alterou o pH do solo de SMS (Figura 1a) e de Prud (Figura 1b), mas em AG o pH aumentou em todas as camadas do solo (Figura 1c).

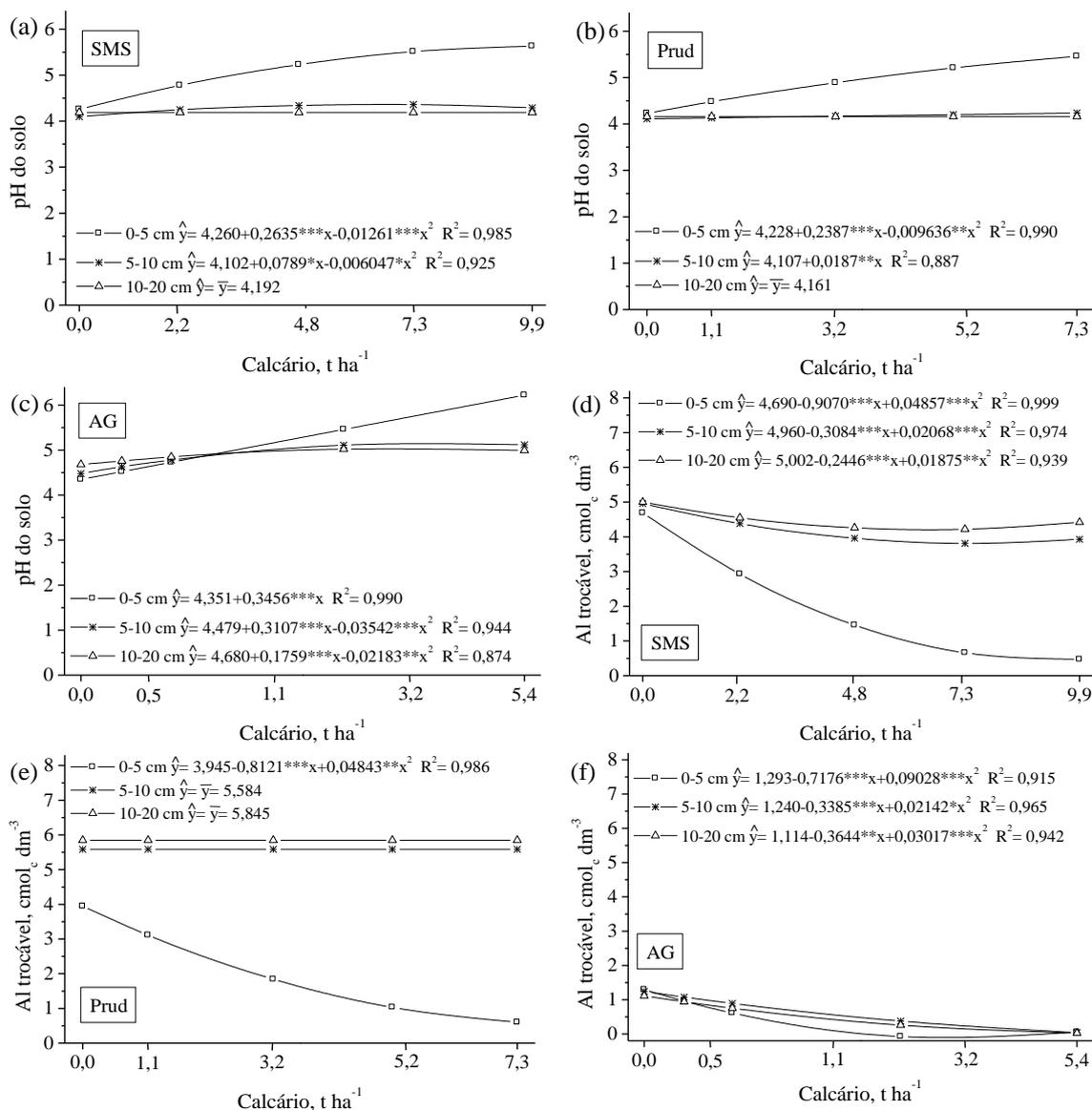


Figura 1. Valores de pH e teores de Al trocável dos solos de São Mateus do Sul (SMS) (a, d), Prudentópolis (Prud) (b, e) e Anta Gorda (AG) (c, f) sob plantios de erva-mate submetidos à calagem. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1e 0,1 % pelo teste F.

O teor de Al³⁺ apresentou maior redução na camada superficial (Figuras 1d, e, f), principalmente em SMS (Figura 1d) e Prud (Figura 1e). Em AG, na maior dose de calcário, o Al foi praticamente todo neutralizado nas três camadas de solo (Figura 1f). O poder tampão da acidez dos solos de SMS e de Prud era mais elevado, pois mesmo a maior dose de calcário não neutralizou todo o Al³⁺, enquanto que no solo de AG todo o Al³⁺ foi neutralizado já na dose de 4,0 t ha⁻¹ de calcário.

A ação da calagem sobre o pH e teor de Al^{3+} , mais intensa nas camadas superficiais do solo, teria sido decorrente da pequena frente de ação do calcário no perfil do solo (Albuquerque et al., 2005; Kaminski et al., 2005). Além disso, alteração pouco pronunciada dos valores de pH e do Al^{3+} , a partir da camada de 0-5 cm de solo, principalmente em Prud, pode ter sido decorrente da baixa solubilidade dos corretivos agrícolas e da alta reatividade de seus ânions com os ácidos presentes no solo (Ernani et al., 2001). Outros componentes podem ter reduzido a eficiência do calcário, como é o caso da matéria orgânica, que, quando em teores elevados no solo, tampona o efeito da calagem (Ernani e Almeida, 1986; Almeida et al., 1999; Motta e Melo, 2009) e atua como fonte de Al favorecendo a acidez do solo (Perez et al., 2009). Neste trabalho, a redução do teor de matéria orgânica (dados não apresentados) foi considerável. Neste sentido, tanto o solo de SMS como de Prud, por apresentarem maior teor de matéria orgânica e de argila (Quadro1), mesmo recebendo doses de calcário mais elevadas do que as do solo de AG, mantiveram-se com menor pH e não foi possível a neutralização todo o Al^{3+} , mesmo na camada superficial do solo.

Na camada de 0-5 cm, nas maiores doses de calcário, os teores de Ca e Mg trocáveis se situaram na faixa correspondente ao nível alto (CQFSRS/SC, 2004) para os três locais. Porém, enquanto o teor de Ca^{2+} foi alterado somente na primeira camada em Prud (Figura 2b) e até a camada de 5-10 cm em SMS (Figura 2a) e AG (Figura 2c), os de Mg^{2+} , em Prud e AG, aumentaram até 10 cm de profundidade (Figuras 2e, f). Normalmente a baixa mobilidade de Ca e Mg decorre da curta permanência dos cátions adicionados pelo calcário na solução do solo, sendo grande parte desses adsorvidos às cargas negativas criadas pelo aumento do pH, e às cargas anteriormente ocupadas pelo Al. Assim, apenas uma pequena parte do Ca e do Mg permanece na solução do solo (Ernani et al., 2001), o que explica a pequena alteração da disponibilidade, especialmente do Ca nas camadas mais profundas.

A movimentação do Ca e Mg no perfil, pela calagem, normalmente é baixa, sendo maior em solos com alta macroporosidade, principalmente dos bioporos originários da renovação do sistema radicular e pela atuação da macrofauna (Gatiboni et al., 2003). Dessa forma, em solos bem preservados, o aumento do pH, a redução da disponibilidade do Al e o aumento de Ca e Mg em profundidade pode estar muito mais relacionada ao deslocamento vertical de partículas de calcário que não reagiram na superfície do solo (Petreere e Anghinoni 2001; Gatiboni et al., 2003; Amaral et al., 2004) do que à frente alcalinizante da reação do calcário (Kaminski et al., 2005). Este fato

também pode ter ocorrido neste estudo, considerando que nos três locais, após o plantio, não foi realizado revolvimento de solo.

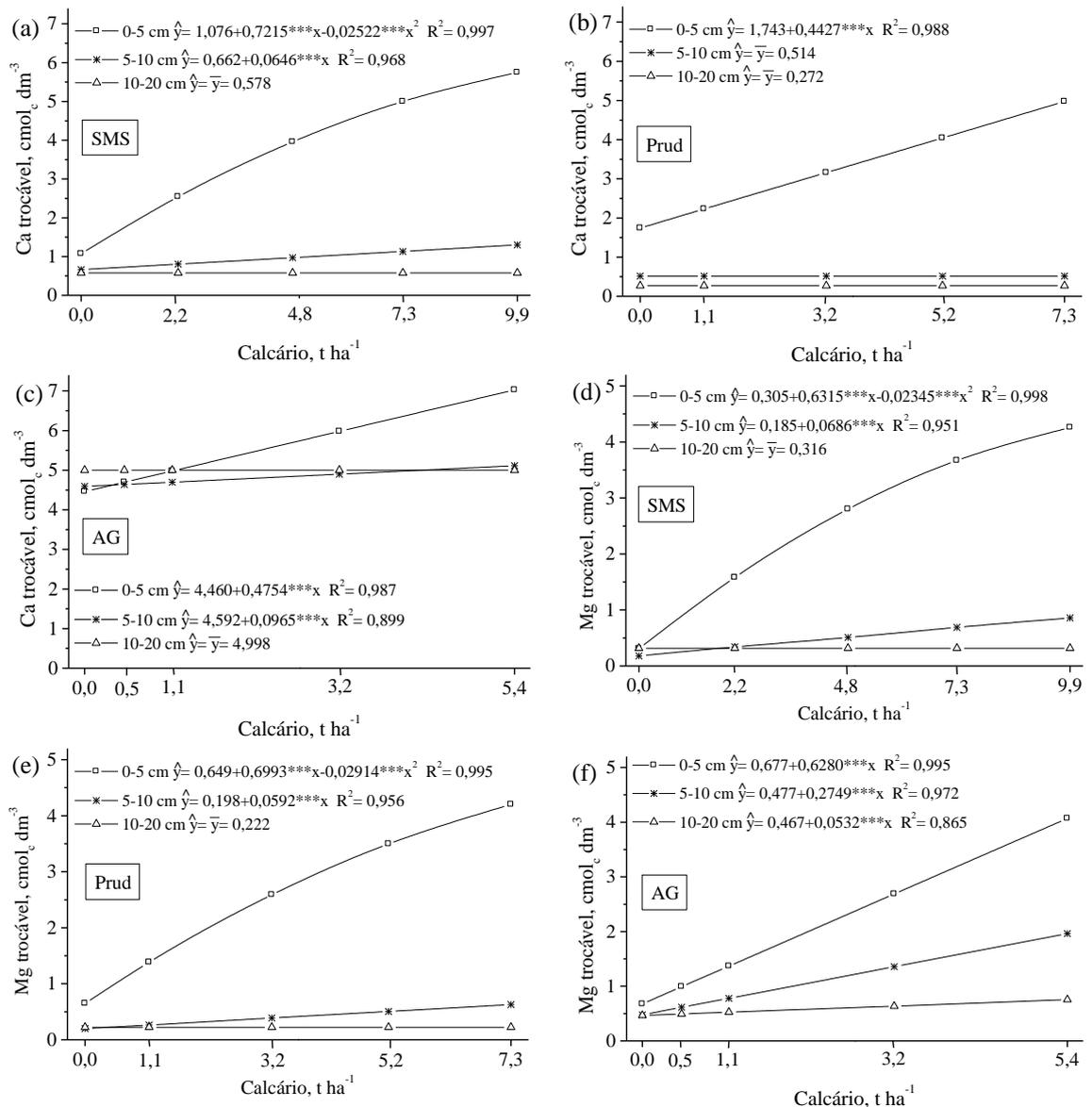


Figura 2. Teor de Ca e de Mg trocáveis nos solos de São Mateus do Sul (SMS) (a, d), Prudentópolis (Prud) (b, e) e Anta Gorda (AG) (c, f) sob plantios de erva-mate submetidos a calagem. *** significativo a 0,1 % pelo teste F.

O aumento do teor de Ca, restrito à camada de 0-5 cm para o solo de Prud (Figura 2b), possivelmente tenha sido ocasionado pelo menor contato imediato do calcário com o solo, visto a presença de uma espessa camada de matéria seca de gramíneas indecompostas na época de instalação do experimento, fato não observado nas áreas de SMS e AG. Nessas circunstâncias, o aumento do teor de Mg nas maiores profundidades, em relação ao do Ca em Prud e AG (Figuras 2e, f), se contrapõe à hipótese da ação restrita da calagem em camadas mais superficiais, verificada principalmente no solo de

Prud. Neste caso, a participação de outros ânions da solução do solo, principalmente nitratos, cloretos e sulfatos, oriundos principalmente da mineralização da matéria orgânica (Ernani et al., 2001; Gatiboni et al., 2003), ou da própria adubação (Foloni e Rosolem, 2006), como íons acompanhantes, teria favorecido a movimentação de Ca e Mg no perfil. A movimentação de Mg em maiores profundidades em relação à do Ca, em resposta a calagem, também foi verificada em outros trabalhos (Petreire e Anghinoni 2001; Kaminski et al., 2005; Foloni e Rosolem, 2006). A solubilidade do carbonato de Mg em água ($0,106 \text{ g L}^{-1}$), normalmente é maior que a do carbonato de Ca ($0,014 \text{ g L}^{-1}$) (Alcarde, 2005) e também pode contribuir para maior mobilidade do Mg no perfil. Considerando que no calcário utilizado, a relação entre Ca:Mg em cmol_c foi 1,06, esta hipótese se justifica para o solo de AG onde o incremento de Mg^{2+} ($4,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) com a calagem na camada superficial foi maior que o do Ca^{2+} ($2,54 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O mesmo fato não ocorreu para SMS e Prud, visto que o incremento do Ca^{2+} foi maior ou semelhante ao do Mg^{2+} . Segundo Rajj (1991), outro fator que favorece maior adsorção do Ca do que a do Mg nos colóides das argilas é a energia de ligação existente entre as bases trocáveis e os colóides do solo, sendo $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. Ou seja, conforme o número de valência e o tamanho dos íons hidratados, as bases do solo são adsorvidas com maior ou menor energia de ligação. Assim, a menor energia de ligação do Mg nas argilas do solo pode ter contribuído para a movimentação mais expressiva do Mg em profundidade.

Outros fatores, como tempo e dose, também devem ser considerados na movimentação do calcário em profundidade. Caires et al. (2000) verificaram aumento nos teores de Ca e Mg trocáveis no solo até os 10 cm de profundidade já aos 12 meses após a aplicação, atingindo os 20 cm 58 meses após a aplicação. Com aplicação superficial de $8,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, Kaminski et al., (2005) constataram aumento, após 84 meses, de Ca^{2+} até 20 cm e de Mg^{2+} até 25 cm de profundidade. Apesar da baixa mobilidade do Ca do calcário no solo (Albuquerque et al., 2005; Kaminski et al., 2005) o aumento da disponibilidade do nutriente na profundidade de 5-10 cm (SMS e AG) e da de Mg^{2+} na profundidade de 10-20 cm (AG), 18 meses após a calagem, indica mobilidade significativa desses nutrientes.

Produtividade e teores de Ca, Mg e Al da erva-mate

A produção de erva-mate respondeu positivamente à calagem, independente da parte da planta avaliada (Figuras 3a, b, c). A calagem afetou a relação dos componentes

da erva-mate comercial FO/GF somente para o plantio de AG (Figura 3d).

Dos componentes da erva-mate comercial (COM), a produtividade de folhas (FO) apresentou maior resposta quando comparada à de galhos finos (GF) nas três áreas experimentais. Somente para o GF em Prud a produtividade foi linear (Figura 3b), com produção de 4,6 t ha⁻¹ na maior dose. A calagem proporcionou aumento da produtividade de COM entre 21 e 27 %, sendo a máxima de 25,4, 18,0 e 29,3 t ha⁻¹, respectivamente, nas doses de 6,4, 5,6 e 3,4 t ha⁻¹ de calcário em SMS, Prud e AG (Figuras 3a, b, c).

As produtividades de COM (18,0-29,3 t ha⁻¹), em colheita com intervalo de 18 meses, foram superiores à média nacional (6,2 t ha⁻¹) em 2011 (IBGE, 2012). A produtividade anual obtida por Lourenço (1997), de 32,7 e 35,7 t ha⁻¹, em dois ervais no Rio Grande do Sul, foi similar àquela aqui relatada, indicando que ainda existe um grande potencial para ganhos de produtividade dos ervais no Brasil.

A relação entre os componentes da erva-mate comercial FO/GF de AG atingiu um mínimo de 3,64 na dose de 3,9 t ha⁻¹ (Figura 3e) e média de 4,49 e 3,23 (dados não apresentados), para SMS e Prud. A redução da FO/GF com o aumento das doses em AG indica que o aumento na produtividade de FO depende de um maior investimento da planta em GF, mas o maior valor da relação FO/GF para SMS indica que é possível obter COM com maior percentagem de folhas nos diferentes locais.

As respostas da erva-mate à calagem descritas neste trabalho contrastam com as obtidas por Reissmann et al. (1997) e Reissmann e Carneiro (2004), que ao avaliarem o efeito da calagem em um solo com 0,9 cmol_c dm⁻³ de Ca e 5,1 cmol_c dm⁻³ de Al, obtiveram resposta negativa no crescimento das plantas. Assim, novos estudos devem ser conduzidos para esclarecer a questão, visto que a máxima produtividade de COM obtida em SMS, Prud e AG ocorreu quando a disponibilidade de Ca na camada de 0-5 cm era respectivamente de 4,66, 4,22 e 6,08 cmol_c dm⁻³, teores considerados altos (CQFSRS/SC, 2004). Ressalta-se que o teor de Ca na camada de 5-10 cm, em SMS e Prud, (respectivamente de 1,08 e 0,51 cmol_c dm⁻³) é considerado baixo (CQFSRS/SC, 2004). Já em AG, nessa mesma camada, o teor de Ca (4,92 cmol_c dm⁻³) é considerado alto (CQFSRS/SC, 2004). Na camada mais profunda, para a mesma produtividade, a diferença no teor de Ca entre AG e os demais locais era ainda maior. A resposta positiva de produção obtida, em especial para AG, indica que os valores referenciais para o teor de Ca no solo, para erva-mate, publicados pela CQFSRS/SC (2004) devem ser revistos.

O teor de Ca não foi afetado pela calagem em nenhuma das partes da planta nas três áreas experimentais. No entanto, o teor de Mg na FO e GF aumentou com as doses de calcário nos três locais (Figuras 4a, b, c). A calagem reduziu o teor de Al nas folhas nos três locais do estudo (Figuras 4d, e, f).

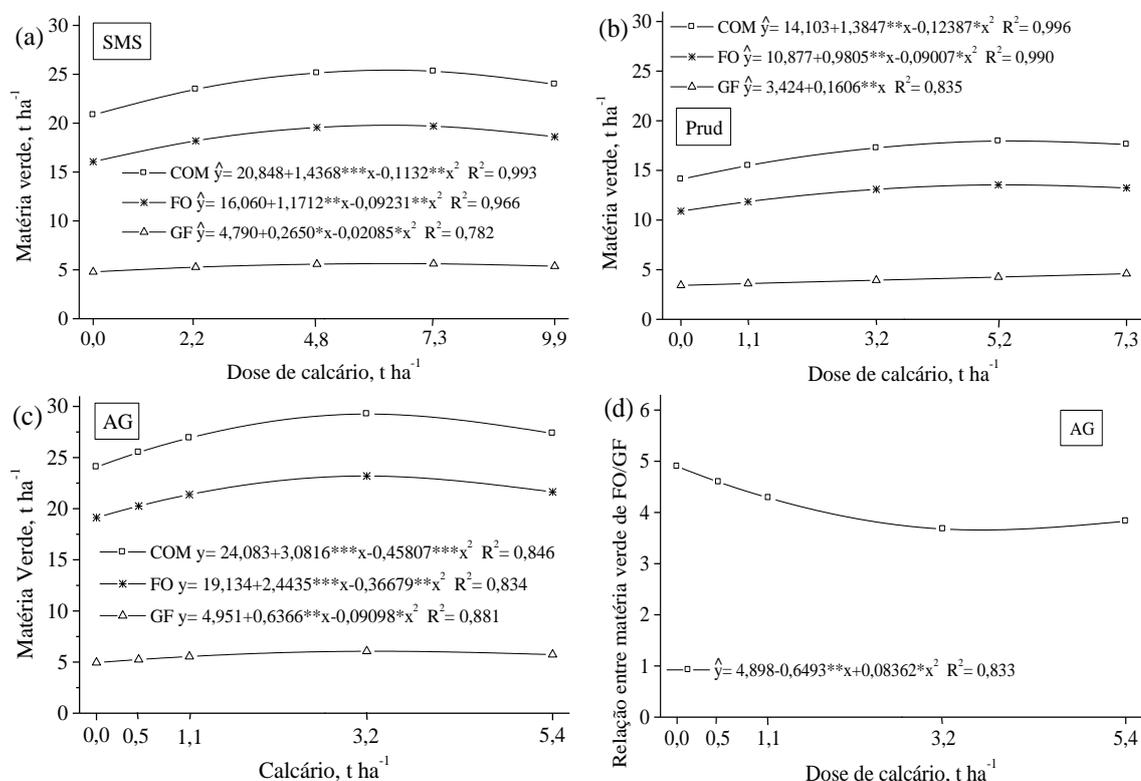


Figura 3. Produção de matéria verde de folhas (FO), de galhos finos (GF) e erva-mate comercial (COM) e relação entre FO/GF, em plantios de erva-mate submetidos à calagem em São Mateus do Sul (SMS) (a), Prudentópolis (Prud) (b) e Anta Gorda (AG) (c). *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F.

O teor foliar de Mg já constatado para erva-mate de 1,1 g kg⁻¹ (Lourenço, 1997) e 8,7 g kg⁻¹ (Reissmann e Carneiro, 2004), demonstra grande variação do teor deste nutriente entre plantios. O teor de Mg foliar, na maior produtividade obtida para os três locais, praticamente não variou (5,4 a 5,6 g kg⁻¹), o que poderia indicar ervais bem supridos de Mg, tendo em vista a diferença de produção entre os três locais do experimento (de 14 a 30 t ha⁻¹ de produto comercial) (Figura 3).

A erva-mate, por crescer normalmente em solos muito ácidos, apresenta elevados teores foliares de Al, como 976 mg kg⁻¹ verificado por Reissmann et al. (1983). No presente trabalho a calagem reduziu o teor foliar de Al, passando de 250 g kg⁻¹ para 194 g kg⁻¹, 233 g kg⁻¹ para 191 g kg⁻¹ e de 159 g kg⁻¹ para 109 g kg⁻¹, respectivamente, em SMS, Prud e AG.

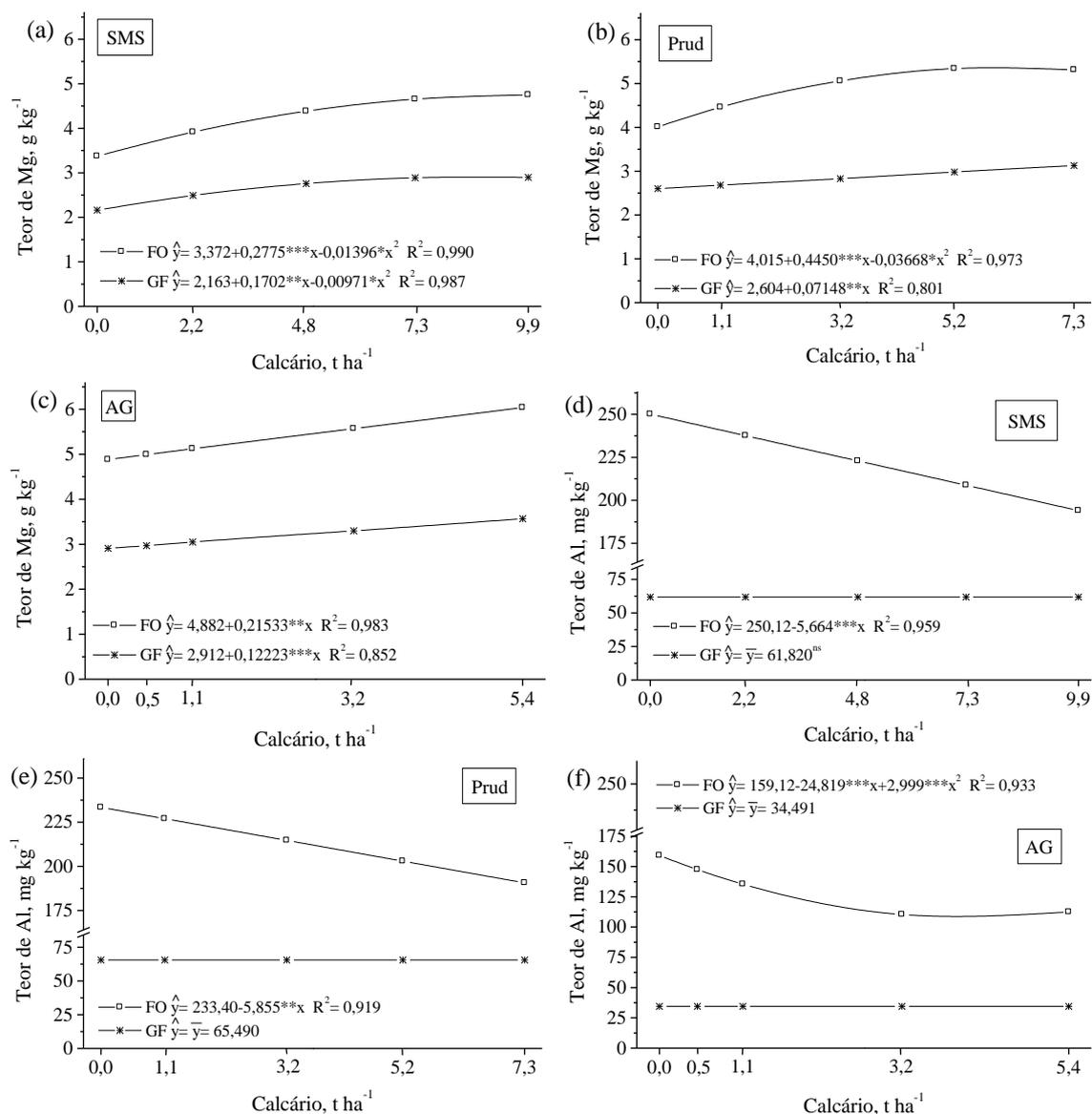


Figura 4. Teores de Mg e de Al em folhas (FO) e galhos finos (GF) de erva-mate submetida à calagem em São Mateus do Sul (SMS) (a, d), Prudentópolis (Prud) (b, e) e Anta Gorda (AG) (c, f). *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F.

Apesar de o teor de Ca no tecido vegetal não ter sido afetado pela calagem, o teor médio de Ca de cada componente avaliado foi diferente entre os locais. Para AG o teor na FO, GF e COM foi, respectivamente, 44, 72 e 50 % superior ao teor médio de SMS e Prud (Quadro 3). O teor de Al na COM também foi diferente entre os locais, e na dose de calcário correspondente à produção máxima, em AG o teor foi aproximadamente 53 % menor que a média do obtido em SMS e Prud (Quadro 3). Os distintos teores de Ca e Al para AG, principalmente no componente COM, indicam ser possível produzir erva-mate com diferente qualidade de acordo com as características do solo. Isso pode ser importante para a saúde humana, isto é, um produto mais rico em Ca (Pereira et al., 2009) e mais pobre em Al (Ferreira et al., 2008). Considerando que, principalmente,

pessoas idosas são propensas a descalcificação óssea (Babatunde et al., 2011), a ingestão de alimentos ou bebidas naturalmente ricas em Ca é uma das formas mais eficientes de prevenção desse tipo de problema (Pereira et al., 2009). Por outro lado, há indicativos de que o Al teria uma possível participação no Mal de Alzheimer (Ferreira et al., 2008). Dessa forma, deve-se prezar pela segurança alimentar dos produtos derivados da erva-mate, pois são inúmeros os benefícios para a saúde dos compostos presentes na planta (Tsai et al., 2010; Mejía et al., 2010; Anesini et al., 2012, Gosmann et al., 2012; Lückemeyer et al., 2012). Tais fatos são relevantes e devem motivar a condução de novos estudos visando avaliar o efeito de técnicas de manejo da fertilidade do solo sobre os teores de Al e de Ca na erva-mate comercial.

Quadro 3. Teor de Ca nas folhas (FO), nos galhos finos (GF) e erva-mate comercial (COM) e de Al na FO de plantios de erva-mate submetidos à calagem

Local	Teor ¹ de Ca			Teor ² de Al
	FO	GF	COM	FO
	g k g ⁻¹			mg kg ⁻¹
SMS	5,05	3,09	4,52	214,0
Prud	5,06	4,04	4,79	200,6
AG	7,27	6,13	7,00	109,4

¹ Teor médio de Ca; e ² teor de Al na dose de calcário de máxima eficiência técnica para produtividade de COM, sendo São Mateus do Sul (SMS), Prudentópolis (Prud) e Anta Gorda (AG) respectivamente de 6,4, 5,6 e 3,4 t ha⁻¹ de calcário.

Com o ganho de produtividade ocasionado pela calagem, houve aumento do conteúdo de Ca e Mg na COM para os três locais de estudo (Figura 5). Considerando a dose associada à máxima produtividade de COM de cada local (Figura 3a, b, c), o conteúdo de Ca para SMS, Prud e AG foi, respectivamente, de 49,9, 33,5 e 85,1 kg ha⁻¹ e o de Mg de 45,8, 32,4 e 56,7 kg ha⁻¹.

A eficiência de utilização de Ca para produção de COM não foi afetada pela calagem nos três locais, ao passo que a de Mg diminuiu com as doses (Figuras 5d, e, f). Em AG a EUN de Mg reduziu linearmente com as doses (Figura 5f), já em SMS e Prud a EUN mínima foi, respectivamente, de 238,1 e 208,7 kg kg⁻¹ (Figuras 5d, e). Em mudas de erva-mate submetidas à calagem, houve redução da EUN, principalmente do Mg, e similaridade da EUN de Ca e Mg com aumento das doses (Santin et al., 2013). Neste trabalho, nas maiores doses de calcário, principalmente em SMS (Figura 5d) e Prud (Figura 5e), a EUN de Ca e de Mg tendeu a se igualar, o que pode ter refletido para a semelhança do conteúdo de Ca e Mg nessa condição (Figuras 5a, b).

O aumento da produtividade com as doses de calcário e a constância da EUN de Ca é um indicativo de que a calagem estimulou a absorção de Ca de modo proporcional

ao aumento da produção de massa. O papel do Ca no estímulo ao crescimento radicular de plantas (Ritchey et al., 1982; Marschner, 1995; Epstein e Bloom, 2004; Hawkesford et al., 2012) pode ter contribuído para maior exploração do solo, contribuindo para o incremento na produtividade de erva-mate. Isso seria um indicativo de que a calagem poderia ser aplicada superficialmente para a cultura da erva-mate. No entanto, nessa cultura em que além da produtividade se busca qualidade de produto, preferencialmente mais rico em Ca e pobre em Al, outras formas de redução da atividade do Al e aumento da de Ca em camadas mais profundas do solo devem ser investigadas.

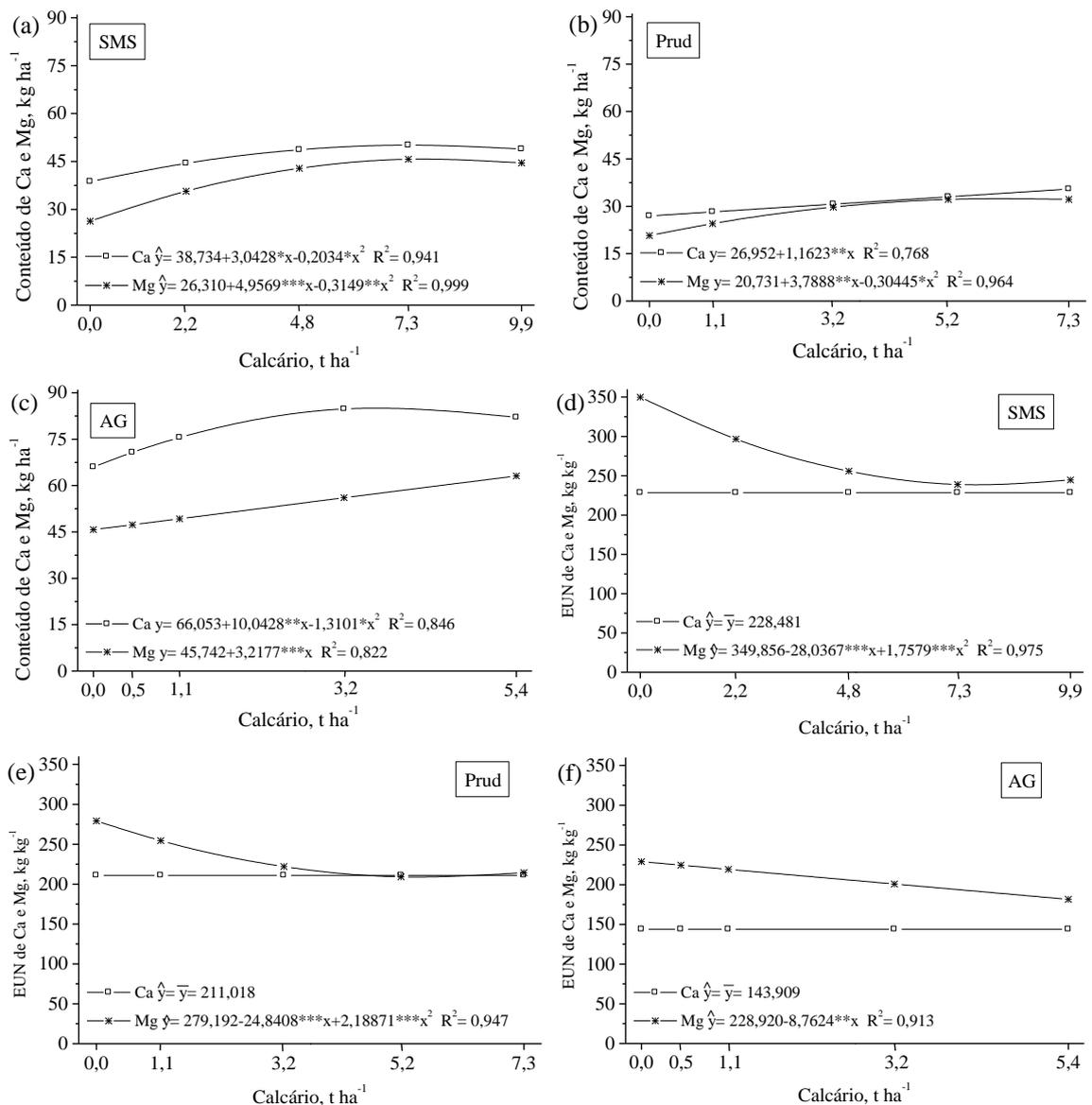


Figura 5. Conteúdo e eficiência de utilização (EUN) de Ca e Mg em erva-mate comercial (COM) nos locais de São Mateus do Sul (SMS) (a, d), Prudentópolis (Prud) (b, e) e Anta Gorda (AG) (c, f) em plantios de erva-mate submetidos a calagem. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F.

O conteúdo de Ca e Mg, que representa a quantidade exportada na colheita, é alto. Apesar de a resposta em produtividade não ter sido tão expressiva, o conteúdo de Ca e Mg indica uma maior necessidade desses nutrientes pela planta do que até então era considerada. A baixa e ou ausência de resposta da erva-mate à calagem fez com que Reissmann et al. (1997) e Reissmann e Carneiro (2004) a considerassem como uma espécie calcífuga, característica essa dada a espécies que toleram altos teores de Al no solo (Mengel e Kirkby, 1987; Marschner, 1995). A possível tolerância da erva-mate ao Al (Santin et al., 2013), pode ser restrita a plantas adaptadas naturalmente a solos com alta disponibilidade de Al. Benedetti et al. (2011) mostraram tolerância diferenciada entre clones de erva mate. A resposta positiva da planta à calagem em AG (Figura 3C), mesmo em solos com alto teor de Ca (Figura 2C), indica que, para este local, o conceito de calcífuga e tolerante ao Al não se aplicam à erva mate. Por outro lado, em SMS e Prud, mesmo com produtividade máxima de COM obtida onde o teor de Ca era alto na camada de 0-5 cm, e o teor de Al entre 3,8 a 5,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ nas demais camadas do solo, pode ser um indicativo que os ervais desses locais apresentam tolerância ao Al.

O aumento significativo do teor foliar de Mg com as doses de calcário, pode ser um indicativo de que o aumento da produtividade da erva-mate tenha ocorrido mais em resposta ao aumento da disponibilidade de Mg no solo do que a de Ca. Por outro lado, o aumento do teor foliar (Figuras 4a, b, c) e a redução da EUN de Mg e, a ausência de significância nas mesmas variáveis para o Ca, podem estar relacionados às funções e às diferenças em mobilidade de cada nutriente na planta. O Ca na planta é basicamente estrutural e pequena porção pode ser armazenada no vacúolo, além de que no citoplasma a concentração de íons de Ca livre é baixa. Já o Mg, ativador e integrante de enzimas, apresenta mobilidade intermediária na planta (Mengel e Kirkby, 1987; Marschner, 1995; Epstein e Bloom, 2004). Dessa forma, fica evidente o fato que o aumento da absorção do Ca se deu proporcionalmente ao aumento da matéria vegetal, a do Mg, foi, em termos relativos, maior do que o aumento da produção.

O maior teor foliar de Mg ($8,2 \text{ g kg}^{-1}$) e menor de Ca ($4,9 \text{ g kg}^{-1}$), verificado por Reissmann e Carneiro (2004), associado ao conteúdo de Ca e Mg muito semelhante na COM, pode indicar que a erva-mate necessita de uma relação Ca:Mg mais estreita no solo.

CONCLUSÕES

O teor crítico de Mg^{2+} na camada de 0-5 cm do solo varia de 2,5 a 3,5 $cmol_c dm^{-3}$, condição de plantas de erva-mate bem nutridas e apresentam teor foliar de Mg entre 5,0 e 5,7 $g kg^{-1}$.

A disponibilidade de Ca para a cultura da erva-mate na fase de produção deve ser diferenciada por local. Para a cultura estabelecida em solos naturalmente com baixa disponibilidade de Ca^{2+} , a calagem deve disponibilizar o nutriente na profundidade de 0-5 cm entre 4,0 e 4,5 $cmol_c dm^{-3}$. Para a cultura adaptada naturalmente a solos com alta disponibilidade de Ca^{2+} , a calagem deve disponibilizar o nutriente até 6,0 $cmol_c dm^{-3}$.

Para erva-mate adaptada a solos com baixa disponibilidade de Ca^{2+} , teor foliar de Ca próximo a 5,0 $g kg^{-1}$ pode ser considerado como adequado. Para a cultura estabelecida em solos naturalmente com alta disponibilidade de Ca^{2+} , teor foliar deste nutriente próximo a 7,3 $g kg^{-1}$ é indicativo de plantas de erva-mate bem nutridas em Ca.

A composição de Ca e Al da erva-mate é afetada pela fertilidade do solo. Em solo com alta disponibilidade natural de Ca^{2+} e baixa de Al^{3+} é possível produzir erva-mate comercial com maior teor de Ca e menor de Al, quando comparado a solos com baixa disponibilidade natural de Ca^{2+} e alta de Al^{3+} .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; VIEIRA, S. M. F.; BAYER, C.; PASSOS, J. F. M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno aluminico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:963-975, 2005.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo, ANDA, 2005. 24p. (**Boletim Técnico**, 6)

ALMEIDA, J. A.; ERNANI, P. R.; MAÇANEIRO, K. C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Ciência Rural**, 29:651-656, 1999.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:359-367, 2004.

ANESINI, C.; TURNER, S.; COGOI, L.; FILIP, R. Study of the participation of caffeine and polyphenols on the overall antioxidant activity of mate (*Ilex paraguariensis*). **LWT. Food Science and Technology**, 45:299-304, 2012.

AOAC-ASSOCIATIONS OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Associations of Official Analytical Chemists**. 12. ed. Washington, D.C. 1975. 1024p.

BABATUNDE, O. T.; HIMBURG, S. P.; NEWMAN, F. L.; CAMPA, A.; DIXON, Z. Theory-driven intervention improves calcium intake, osteoporosis knowledge, and self-efficacy in community-dwelling older black adults. **Journal of Nutrition Education and Behavior**, 43:434-440, 2011.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, 10:112-120, 1986.

BENEDETTI, E. L.; BARROS, N. F.; SANTIN, D.; ALMEIDA, I. C.; PEREIRA, G. L.; FONTES, L. Alumínio favorece o crescimento de mudas de erva-mate. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5. Posadas, 2011, **Anais...** Posadas: INYM/ INTA/INaM, 2011. p.155-160.

BISSANI, C. A.; MEURER, E.J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed., Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 181-205.

BORILLE A. M. W.; REISSMANN, C. B; FREITAS, R. J. S. Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, 23:183-198, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Divisão de Pesquisas Pedológicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:161-169, 2000.

CARVALHO, P. H. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R. M. **A floresta com araucária no Paraná: projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

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

DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo. Metodologia**. Viçosa, UFV. Imprensa Universitária. 1997. 26p. (Boletim de Extensão 29).

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:143-150, 1986.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, 58:825-831, 2001.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 403p.

FERREIRA, P. C, PIAI, K. A.; TAKAYANAGUI, A. M. M.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Aluminum as a riskfactor for Alzheimer'sdisease. **Revista Latino Americana de Enfermagem**, 16:151-157, 2008.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão. I - Transporte de cátions e ânions no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:425-432, 2006.

GATIBONI, L. C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J. P. C.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, 33:283-290, 2003.

GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES. **Anuário brasileiro da erva-mate 1999**. Santa Cruz do Sul-RS. Ed. Pallotti, 1999. 64p.

GOSMANN, G.; BARLETTE, A.; DHAMER, T.; ARÇARI, D.; SANTOS, J.; CAMARGO, E. R.; ACEDO, S.; GAMBERO, A.; GNOATTO, S. C. B.; RIBEIRO, M. L. Phenolic compounds from maté (*Ilex paraguariensis*) inhibita dipogenesis in 3T3-L1 preadipocytes. **Plant Foods Human Nutrition**, 67:156-161, 2012.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. **Functions of Macronutrients**. In: MARSCHNER, P. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. Oxford: Academic Press, 2012. p.135-189.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina. IAPAR, 1994. 49p.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2011**. IBGE, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2012.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em

um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:573-580, 2005.

LÜCKEMEYER, D. D.; MÜLLER, V. D. M.; MORITZ, M. I. G.; STOCO, P. H.; SCHENKEL, E. P.; BARARDI, C. R. M.; REGINATTO, F. H.; SIMÕES, C. M. O. Effects of *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Yerba Mate) on herpes simplex virus types 1 and 2 replication. **Phytotherapy Research**, 26:535-540, 2012.

LOURENÇO, R. S. Adubação da erva-mate. In: I CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE II REUNIÃO TÉCNICA DO CONESUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE. Curitiba, 1997, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p.299-315.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MEJÍA, E. G.; SONG, Y. S.; HECK, C.; RAMÍREZ-MARES, M. V. Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): Phenolics, antioxidant capacity and in vitro inhibition of colon cancer cell proliferation. **Journal of Functional Foods**, 2:23-34, 2010.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Bern, International Potash Institute, 1987, 687 p.

MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F. **Química dos solos ácidos**. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). Química e mineralogia dos solos. Viçosa: SBCS, v. 2, 2009. p.313-380.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: **SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS**. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). 1983, Curitiba: EMBRAPA/CNPQ, 1985, p.17-36.

PEREIRA, G. A. P.; GENARO, P. S.; PINHEIRO, M. M.; SZEJNFELD, V. L.; MARTINI, L. A. Cálcio dietético – estratégias para otimizar o consumo. **Revista Brasileira de Reumatologia**, 49:164-180, 2009.

PEREZ, D. V.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; PEREIRA, M. G. Comparison of H/Al stoichiometry of mineral and organic soils in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1071-1076, 2009.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 885-895, 2001.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafós, 1991. 343p.

REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, C. Crescimento e composição química de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), transcorrido oito anos de calagem. **Revista Floresta**, 34:381-386, 2004.

REISSMANN, C. B.; DÜNISCH, O.; BOEGER, M. R. T. Beziehungen zwischen ernährungs biologischen (Fe, Mn und Ca) und strukturellen merkmahlen ausgewälter morphotypen der mate-pflanze (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: HÜTTEL, R. (Ed.) **Boden, Wald und Wasser**. Aachen: Shaker Verlag. 2003. 249 p.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; DE QUADROS, R. M. B.; RADOMSKI, M. I. Production and foliar N, P, K, Ca and Mg levels in erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), related to increasing base saturation levels. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 40:241-249, 1997.

REISSMANN, C. B.; ROCHA, H. O; KOEHLER, C. W.; CALDAS, R. L. S.; HILDEBRAND, E. E. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre Cambissolo na região de Mandirituba - PR. **Revista Floresta**, 14:49-54, 1983.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, V. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah oxisols. **Soil Science**, 133:378-382, 1982.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; KASEKER, J. F; BASTOS, M. C.; REISSMANN, C. B.; WENDLING, I.; BARROS, N. F. de. Nutrição e crescimento da erva-mate submetida à calagem. **Ciência Florestal**, 2013. (no prelo)

SANTIN, D. **Produtividade, teor de minerais, cafeína e teobromina em erva-mate adensada e adubada quimicamente**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SATTERTHWAITE, F. E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics Bulletin**, 2:110-114, 1946.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. **Acidez do solo e sua correção**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.205-274.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS: UFRGS, 2002. 126p.

TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. **Acidez do solo e seus efeitos nas plantas**. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Gênese, 2004. p.75-92.

TEDESCO, J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de solos, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (**Boletim Técnico, 5**).

TSAI, T. H.; TSAL, T. H.; WUC, W. H.; TSENG, J. T. P.; TSAI, P. J. *In vitro* antimicrobial and anti-inflammatory effects of herbs against *Propionibacterium acnes*. **Food Chemistry**, 119:64-968, 2010.

VALDUGA, E. **Caracterização química e anatômica da folha de *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire e de algumas espécies utilizadas na adulteração do produto**. 1995. 97 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

APÊNDICE

Quadro a1. Análise da variância para propriedades do solo, teor de Al^{3+} trocável no solo, São Mateus do Sul

FV	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	4	0,74	0,18	1,80	0,178
Dose	4	42,86	10,71	105,04	0,000
Dose x Bl. (Resíduo-A)	16	1,63	0,10		
Prof.	2	89,81	44,90	790,56	0,000
Prof. x Bl. (Resíduo-B)	8	0,45	0,06		
Dose x Prof.	8	26,49	3,31	59,55	0,000
Dose x Prof. (Resíduo-C)	32	1,78	0,06		
Total	74	163,76			
CV A % (8,9)					
CV B % (6,7)					
CV C % (6,6)					

CAPÍTULO 2
ADUBAÇÃO NITROGENADA E INTERVALOS DE COLHEITA NA
PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DA ERVA-MATE EM FASE DE PRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o elemento normalmente encontrado em maior concentração na parte vegetativa da maioria dos vegetais. Na cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), cujo produto da colheita é constituído especialmente por folhas, galhos finos, botões florais e sementes (Reissmann et al., 1985), o N é o nutriente mais exportado. Contudo, apesar de a erva-mate ser uma cultura Sul brasileira centenária (Carvalho, 2003) e que desempenha importante função socioeconômica para centenas de milhares de pessoas (Gazeta, 1999), ainda não se registram avanços significativos no manejo nutricional da espécie. Isso tem refletido na redução da produtividade brasileira de erva-mate, registrando-se entre 1990 a 2011, queda de 60 % (IBGE, 2012). Por outro lado, estudos nas áreas de farmacologia e engenharia de alimentos têm demonstrado o grande potencial da espécie em benefícios para a saúde humana (Mejía et al., 2010; Berté et al., 2011; Gosmann et al., 2012; Lanzetti et al., 2012), fato que pode aumentar a demanda por matéria prima.

A erva-mate originalmente era explorada em meio a florestas nativas em intervalos de 36 a 48 meses entre colheitas, tempo suficiente para que a ciclagem de nutrientes no ecossistema pudesse suprir a demanda nutricional das esparsas plantas colhidas na área. Com a redução da área desses ervais, iniciaram-se os plantios puros a pleno sol e o manejo dos ervais nativos dando origem a ervais de adensamento. Somado ao aumento de plantas por área, reduziu-se o intervalo de tempo entre colheitas, as quais, segundo Da Croce (1997), atualmente são realizadas anualmente ou com intervalos de 18 meses. Essas medidas, sem considerar a reposição dos nutrientes, corroboraram com a queda da produtividade média brasileira de 17,3 t ha⁻¹ em 1990 para 6,2 t ha⁻¹ em 2011 (IBGE, 2012).

Apesar de a erva-mate ocorrer naturalmente em solos de baixa fertilidade (Carvalho, 2003) e não ter havido melhoria genética do material plantado, os escassos experimentos com adubação nitrogenada têm demonstrado respostas positivas. Os estudos pioneiros no Brasil de Lourenço et al. (1997), testando N em erval com 12 anos de idade, indicam resposta positiva, com produtividade anual de 15,0 t ha⁻¹ quando aplicados anualmente 186 kg ha⁻¹ de N. Prat Kricun e Belingheri (1995) e Pandolfo et al. (2003) também relatam ganhos de produtividade de erva mate pela utilização de adubação nitrogenada.

A maior parte do N no solo está na forma orgânica, em substâncias húmicas que compõe a matéria orgânica do solo (Silva e Mendonça, 2007). As frações inorgânicas

são compostas principalmente por amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) (Cantarella et al., 2008), que apresentam alta mobilidade no solo e atinge rapidamente as zonas exploradas pelas raízes, podendo ser facilmente perdidos por lixiviação (Ernani et al., 2002). O grande número de reações do N e a predominância da forma nítrica fazem com que os teores deste elemento nas formas minerais no solo variem amplamente (Aulakh et al., 2000). No solo, parte do N aplicado via fertilizante é absorvida pelas plantas; parte pode ser perdida por processos como denitrificação, volatilização, lixiviação e erosão (Lara Cabezas et al., 2000) e parte permanece no solo, com predomínio de forma orgânica (Silva et al., 2006). O N é predominantemente absorvido nas formas de NH_4^+ e NO_3^- (Kolchinsk e Schuch, 2003; Camargo et al., 2008; Cantarella et al., 2008). Em virtude da multiplicidade de reações químicas e biológicas a que o N está sujeito, os critérios para sua recomendação não estão bem estabelecidos (Cantarella e Duarte, 2004).

A estreita relação entre o N e o C no solo justifica o grande número de estudos que focam o aporte de resíduos orgânicos e sua dinâmica no solo e a disponibilidade de N para as plantas (Cantarella et al., 2008). Na cultura da erva-mate, durante a colheita os galhos mais grossos são deixados na área, fato que justifica a necessidade de um melhor entendimento de sua decomposição e liberação de nutrientes.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a resposta da erva-mate e o teor de N e C no solo em sua forma total e lábil em ervais manejados com diferentes intervalos de colheita e submetidos à adubação nitrogenada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em janeiro de 2009 no município de São Mateus do Sul - PR, localizado no segundo Planalto Paranaense, entre a longitude de $50^\circ 22' 58'' \text{O}$ e latitude de $25^\circ 52' 27'' \text{S}$. Na região, a altitude varia de 800 a 1000 m, sendo que o clima da região é temperado (Cfb), com precipitação média anual entre 1600 a 1800 mm (IAPAR, 1994). Os solos predominantes são Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho Escuro e Cambissolos (Castella e Britez, 2004). O solo do local, Latossolo Vermelho Escuro álico, apresenta baixos teores de bases e altos de Al^{3+} e de carbono orgânico (CO) (Quadro1).

Após remoção de parte da mata, permaneceram na área indivíduos esparsos de erva-mate nativa, araucária, imbuia e canela. Em 2001, realizou-se o plantio da erva-

mate no espaçamento de 2 x 2 m, utilizando-se mudas propagadas por sementes e, em janeiro de 2009 instalou-se o experimento.

Quadro 1. Teor de argila e propriedades químicas do solo de 0 a 20 cm de profundidade no local do experimento, São Mateus do Sul-PR.

CO	pH	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7,0}	V	m	Argila	K
g kg ⁻¹	H ₂ O	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	%	-----	mg dm ⁻³
29,79	3,70	4,79	16,33	17,68	7,64	78,01	76	54,90
Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	S-SO ₄ ²⁻	Cu	Zn	Fe	Mn	B
---	cmol _c dm ⁻³	---	-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----
0,87	0,34	1,50	7,56	13,10	2,50	71,00	29,00	0,53

Extrator: Extrator: Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹): P, K, Fe, Mn, Cu e Zn; KCl (1 mol L⁻¹): Ca, Mg e Al; Calcinação e solução de HCl: B e Fosfato de cálcio: S.

Na condução do plantio, a primeira colheita de erva-mate (poda de formação) foi efetuada 24 meses após o plantio a, aproximadamente, 1 m de altura do solo, e as demais colheitas, até o momento da instalação do experimento, efetuadas a cada 18 meses. Na área nunca foi realizada calagem e adubações, sendo apenas cultivada aveia no inverno.

A limpeza do erval foi realizada com roçadas mecânicas nos meses de setembro, janeiro e abril de cada ano. No período de novembro a fevereiro, realizou-se o controle de broca-da-erva-mate (*Hedypathes betulinus* (Klug.)) e das lagartas (*Thelosia camina* (Schaus) e *Hylesia nigricans* (Berg)), respectivamente com os inseticidas biológicos Bovimax® e Dipel®.

Os tratamentos foram arranjos no fatorial 3 x 6 em esquema de parcela subdividida, com três intervalos de colheita e seis doses de N, sendo na parcela o intervalo de colheita e a subparcela as doses. Cada unidade experimental foi composta por 10 plantas úteis, com duas linhas como bordadura. Os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos casualizados com cinco repetições.

No experimento, testaram-se colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses e seis doses de nitrogênio, tendo como fonte uréia. As doses consistiram em 0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ de N. No momento da instalação do experimento, aplicou-se, superficialmente em área total, 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, conforme CQFSRS/SC (2004). Como adubação complementar de P e K aplicou-se 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O, respectivamente, na forma de superfosfato triplo e cloreto de potássio.

A adubação complementar e as doses de N foram parceladas, sendo aplicadas superficialmente na área da projeção da copa, sem incorporação, sempre no início dos meses de janeiro e setembro. Na colheita com intervalo de 12 meses as doses de N e a adubação complementar foram parceladas em duas vezes. Para as colheitas com

intervalo de 18 e 24 meses as doses de N foram parceladas em três vezes e a adubação complementar em duas vezes (duas primeiras aplicações). Na colheita com intervalo de 24 meses, a última parcela da dose foi aplicada quatro meses antes da colheita.

Realizou-se uma colheita para cada um dos intervalos de 12, 18 e 24 meses, sendo respectivamente, em jan/2010, ago/2010 e jan/2011. A colheita foi efetuada retirando-se aproximadamente 95 % da matéria verde, da qual foi separada a erva-mate comercial (COM= folha+galho fino) do galho grosso (GG) e determinada a matéria verde de ambos. O corte para a colheita foi feito entre 10 a 15 cm acima da posição da última poda. Considerou-se como galho fino (GF) os galhos com diâmetro menor de 7 mm aproximadamente e, acima deste diâmetro como galho grosso.

Antes da colheita, coletaram-se amostras de folhas (FO) e GF na metade da altura da copa para determinação da relação entre matéria verde e seca e do teor de N. No momento da colheita, em cada parcela retirou-se uma amostra representativa de GG, para essas mesmas determinações. A FO foi separada do GF e após quantificar a matéria verde o material foi lavado, seco a 65 °C até peso constante, pesada a matéria seca, passado em moinho tipo Wiley com peneira de 0,5 mm de abertura e, posteriormente, analisado quimicamente para N.

No momento da colheita, retirou-se uma amostra composta de solo em cada parcela proveniente de 15 amostras simples coletadas em três pontos na área da projeção da copa de cinco plantas, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. As amostras da camada de 0-10 cm foram coletadas com pá de corte, em uma faixa de 20 cm de largura por 3 cm de espessura. Em seguida, nos mesmos pontos foi coletado solo com trado holandês nas demais profundidades. As amostras foram secas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm e analisadas para determinar o teor de nitrogênio lábil (NL), nitrogênio total (NT), carbono orgânico lábil (COL) e carbono orgânico total (COT).

O teor de N, no tecido, foi determinado, seguindo o método descrito por Bremner (1996).

A determinação do COL foi realizada por oxidação em permanganato de potássio (Blair et al., 1995; Shang e Tiessen, 1997). Para isso, o solo foi macerado e passado em peneira de 0,2 mm e, em tubo de centrífuga de 50 mL recebeu 1 g de subamostra de solo e 25 mL de KMnO_4 ($0,0333 \text{ mol L}^{-1}$), que na sequência foi agitado horizontalmente por 1 h a 170 rpm. Posteriormente a amostra foi centrifugada por 5 min a 2050 rpm. Do sobrenadante gerado, retirou-se 100 μL que foi diluído em 10 mL de água deionizada

em tubos de vidro. O COL foi determinado por espectrofotômetro em comprimento de onda de 565 nm. Todas as etapas foram conduzidas protegidas da luz.

Para a determinação do NL foram utilizados 10 mL do mesmo extrato utilizado para a determinação do CL e 25 mL de NaOH 10 mol L⁻¹ que foram adicionados previamente ao processo de destilação. O destilado, coletado em solução indicadora mista em ácido bórico foi titulado com HCl 0,01 mol L⁻¹, conforme Brandani (2010), adaptado de Sahrawat (1982).

O NT foi determinado pelo método Kjeldahl, que consistiu na digestão sulfúrica (H₂SO₄ e mistura digestora de Na₂SO₄, CuSO₄ e selênio metálico) de 0,2 g de subamostra de solo e 5 mL de H₂SO₄ concentrado em tubo digestor, mantido por aproximadamente 1 h em temperatura entre 350 a 375 °C. Posteriormente, a destilação do extrato realizada em meio alcalino (NaOH 10 mol L⁻¹) foi coletado em solução indicadora mista em ácido bórico e titulado com HCl 0,01 mol L⁻¹, conforme Mendonça e Matos (2005), adaptado de Bremner (1996).

O COT foi extraído por oxidação pelo dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) 0,167 mol L⁻¹ e ataque sulfúrico (H₂SO₄). Para isso, pesou-se em tubo digestor 0,1 g de subamostra de solo que recebeu 5 mL de K₂Cr₂O₇ e 7,5 mL de H₂SO₄, mantida por 30 min em temperatura a 170 °C (Yeomans e Bremner, 1988) e determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O) a 0,20 mol L⁻¹ (Mendonça e Matos, 2005).

O teor de N no tecido vegetal foi extraído por digestão sulfúrica, destilação com hidróxido de sódio, recebimento do destilado com ácido bórico e titulação com HCl 0,1 mol L⁻¹ (Bremner, 1996).

Quantificou-se a produtividade de matéria verde dos componentes, folha (FO), galho fino (GF), galho grosso (GG) e erva-mate comercial (COM). Para a COM foi também calculada a produtividade: 1) influenciada pelos intervalos de colheita (COM.PIC= produtividade na dose zero em cada intervalo de colheita); e 2) influenciada pela dose (COM.PID= produtividade incrementada pela adubação (COM.PID= COM – COM.PIC). A eficiência de utilização dos nutrientes (EUN), para N, foi calculada pela razão entre matéria seca dos componentes colhidos da planta (COM+GG) e o conteúdo do nutriente acumulado (kg kg⁻¹ de N) (BARROS et al., 1986).

A relação entre peso de matéria verde e seca (MV/MS) foi calculada para FO (FO.MV/MS), GF (GF.MV/MS) e COM (COM.MV/MS).

Na análise estatística da característica do solo, os fatores - intervalo de colheita, dose e profundidade, compuseram, respectivamente, parcela, subparcela e sub-subparcela. Para as características da planta, os fatores - intervalo de colheita e dose, compuseram, respectivamente, parcela e subparcela. Os dados foram submetidos à Anova. As médias referentes ao efeito do intervalo de colheitas foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e o efeito das doses de N avaliado por análise de regressão. Para NL, NT, COL e COT do solo, no desdobramento das interações entre o fator da parcela e subparcela e ou sub-subparcela (profundidade), no sentido de avaliar o efeito da subparcela dentro da parcela e ou sub-subparcela, adotou-se como erro o quadrado médio do resíduo combinado e o respectivo número de graus de liberdade, conforme Satterthwaite (1946).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Nitrogênio e carbono orgânico, lábil e total no solo

Os teores de N lábil (NL) (Figuras 1a, b, c) e de N total (NT) (Figuras 1d, e, f) foram afetadas pelo intervalo de colheita, pela dose de N e profundidade. Os teores de C orgânico lábil (COL) foram influenciados pela interação de intervalo com doses e variaram com a camada de solo analisada (Figuras 2a, b, c), enquanto o teor de C orgânico total (COT) somente foi afetado pelo intervalo de colheita nas três profundidades (Figura 2d).

A aplicação de N em plantios colhidos em intervalos de 12 meses elevou o teor de NL nas três camadas de solo analisadas. À medida que o intervalo de colheita aumentou os efeitos das doses de N não foram significativos ou tenderam a reduzir o teor de NL no solo (Figura 1 a, b, c). No intervalo de colheita de 18 meses, somente na menor profundidade o teor de NL aumentou com as doses. A amplitude de teores variou de $0,16 \text{ g kg}^{-1}$ para o intervalo de 12 meses na camada mais superficial, na dose de 254 kg ha^{-1} de N (Figura 1a) a $0,03 \text{ g kg}^{-1}$, no intervalo de 24 meses, na dose de 245 kg ha^{-1} na camada mais profunda (Figura 1c). No intervalo de 12 meses, as doses influenciaram negativamente o teor de NT (Figuras 1d, e, f). Nas três profundidades o teor de NT foi maior no intervalo de 18 meses e menor no de 12 meses. Nos três intervalos de colheita, a medida que aumentou a profundidade ocorreu redução do teor de NT no solo. O fato do último parcelamento da adubação nitrogenada ter sido aplicado quatro meses antes da avaliação contribuiu na disponibilidade de NL, porém somente para menores intervalos entre colheitas.

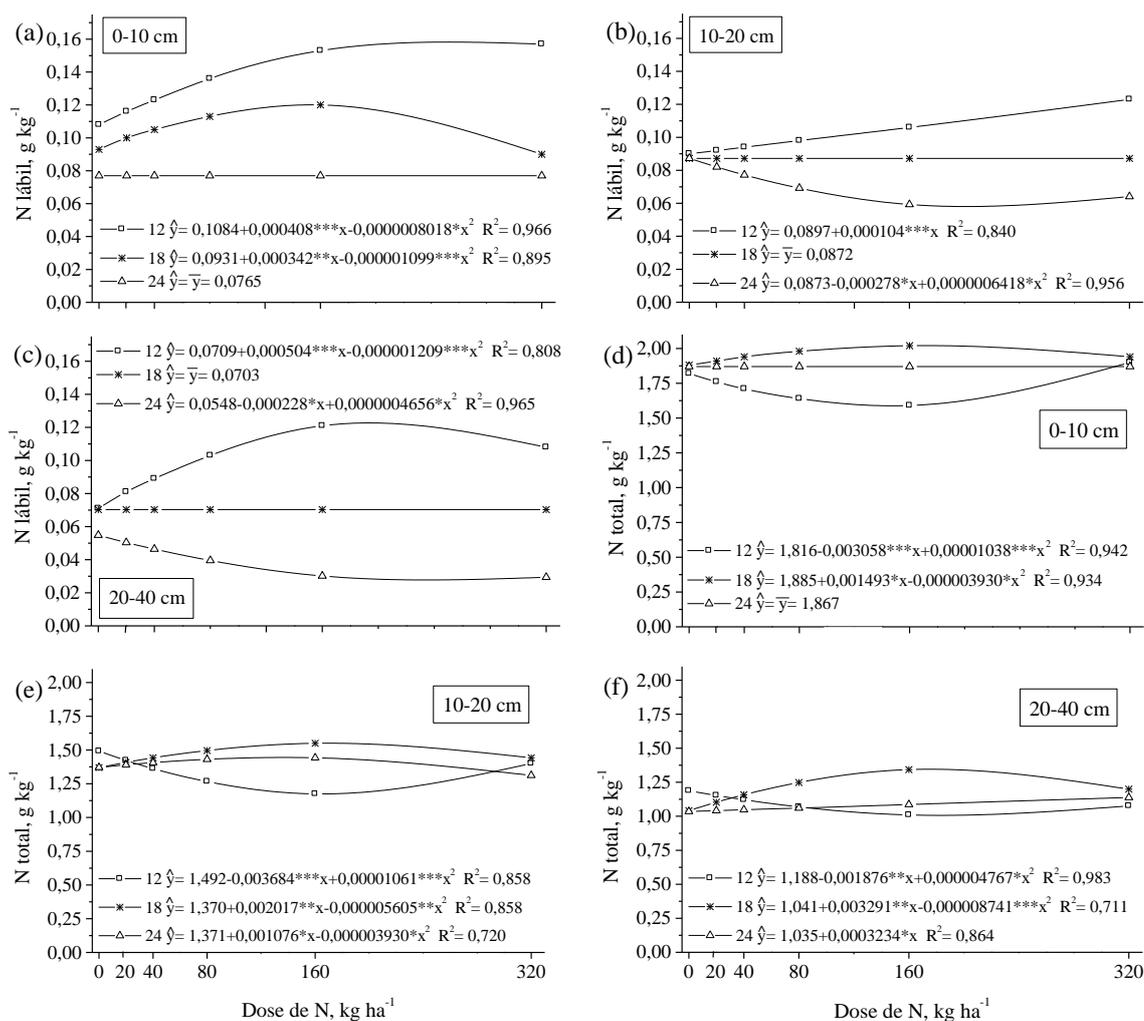


Figura 1. Teores de N lábil (a, b, c) e N total (d, e, f) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm do solo influenciados por doses de N e intervalos de colheita de erva mate. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1, 0,1 % pelo teste F.

A redução do teor de NT, pela a adubação nitrogenada, no menor intervalo de colheita (Figuras d, e, f), pode estar relacionada ao estímulo da adubação na produção de biomassa de plantas espontâneas observadas no plantio de erva-mate (visualizadas, mas não mensuradas), que no decorrer de 12 meses ainda não teriam se decomposto. A adição de N mineral favorece a atividade biológica do solo na decomposição do material orgânico, podendo haver imobilização de parte do N (Gama-Rodrigues et al., 2005; Camargo et al., 2008). Inicialmente a decomposição de resíduos menos lignificados é favorecida pela atividade de organismos do solo (Silva e Mendonça, 2007), e no menor intervalo de colheita a adubação nitrogenada pode ter estimulado a mineralização do N presente no material facilmente decomponível, aumentando o NL no solo. No entanto, como o NL participa de uma pequena fração do NT do solo (Cantarella et al., 2008) o resíduo da colheita anterior (galho grosso) presente na área,

material mais lignificado que o de plantas espontâneas, pode ter favorecido a imobilização de N e reduzido o teor de NT do solo no intervalo de colheita de 12 meses. Para intervalos mais longos, o N imobilizado inicialmente já estaria em fase de mineralização, aumentando o NT.

Os teores de COL nos três intervalos de colheita na profundidade de 0-10 cm foram significativamente influenciados pela aplicação de N (Figura 2a). Nas demais profundidades, esse comportamento foi observado somente para colheitas com intervalo de 12 e 18 meses (Figuras 2b, c). Com teores de 3,5, 3,0 e 3,4 g kg⁻¹ de COL detectados, respectivamente, nas doses de 181, 168 e 211 kg ha⁻¹ de N, da menor para a maior profundidade, o intervalo de colheita de 12 meses apresentou os maiores valores. A contribuição positiva da adubação nitrogenada no aumento de COL também foi verificada por Vieira et al. (2007) em culturas anuais em sistema de cultivo mínimo no sul do Brasil, assim como Brandani (2010) no N e C lábeis do solo na decomposição dos resíduos deixados sobre o solo quando da colheita de eucalipto em diferentes regiões do Brasil. Resultados que corroboram com os verificados neste trabalho.

O teor de COT não foi afetado pela aplicação de N. O teor médio de 41,7 g kg⁻¹ na camada de 0-10 cm de profundidade do solo foi semelhante entre os intervalos de colheita. O maior teor de COT (36,4 g kg⁻¹), detectado no solo na profundidade de 10-20 cm, corresponde ao intervalo de 18 meses, e o menor (28,4 g kg⁻¹), na profundidade de 20-40 cm, no intervalo de colheita de 24 meses (Figura 2d). A hipótese para estes dois valores podem ser decorrentes do aporte de material orgânico, provavelmente de raízes, nessas camadas.

Essa possibilidade é reforçada pelo aumento do teor de COL, no mesmo intervalo de colheita, em todas as profundidades do solo (Figuras 2a, b, c). Nos maiores intervalos de colheita, à medida que a copa das plantas aumentou, a incidência de luz nas entre linhas e nas plantas foi reduzida, restringindo a produção e estimulando a mineralização dos resíduos das plantas espontâneas existentes nos primeiros meses após a poda da erva-mate. Deve-se, ainda, considerar a renovação do sistema radicular das plantas de erva-mate, principalmente na contribuição do COL do solo. Para períodos mais longos entre colheitas, as raízes mortas já teriam passado pelos processos de imobilização e mineralização, o que pode ter contribuído para o menor aumento do COL e maior de NT nos intervalos de 18 e 24 meses.

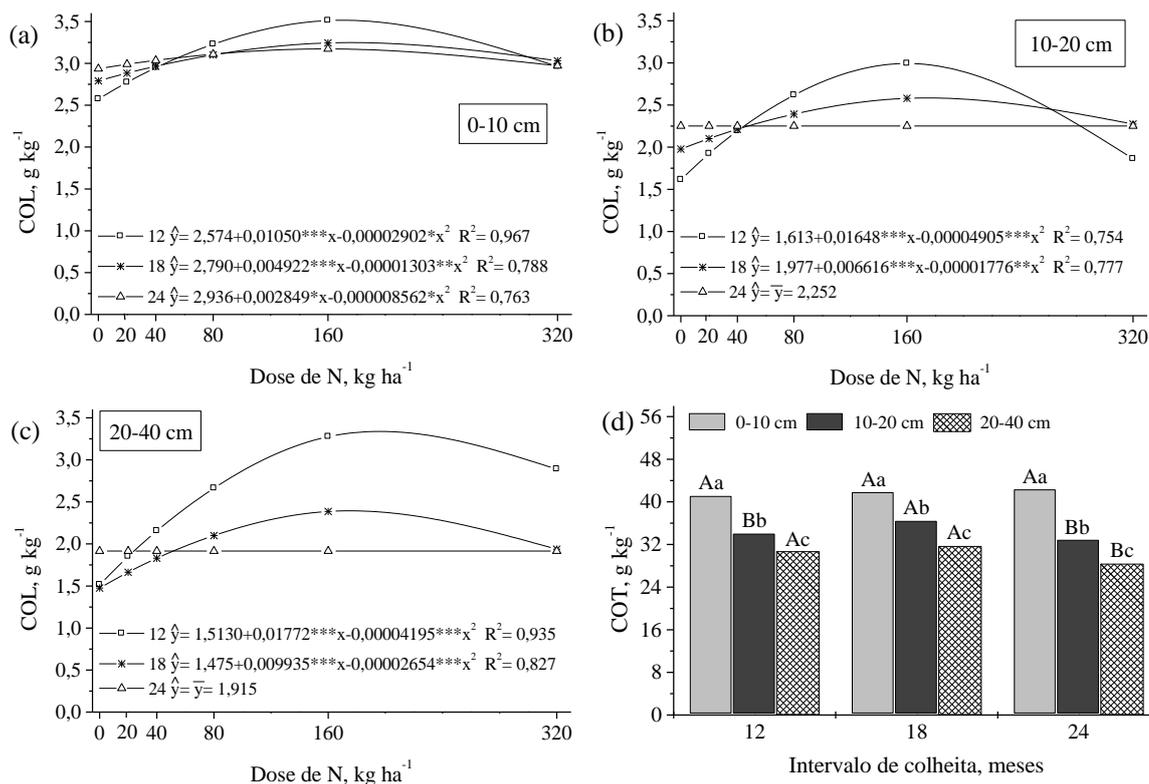


Figura 2. Teor de carbono orgânico, lábil (COL) (a, b, c) e total (COT) (d) nas camadas de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) de solo influenciado por doses de N e intervalos de colheita de 12, 18 e 24 meses em plantio de erva-mate. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F. Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre intervalos de colheita e médias seguidas por mesma letra minúscula não difere estatisticamente entre profundidades ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A ausência e ou baixa variação do teor de COT, verificado durante o período experimental era esperado. Normalmente em sistemas conservacionistas já estabelecidos, a alteração do teor de COT torna-se pouco perceptível em períodos curtos de tempo (Silva e Mendonça, 2007). Contudo, a redução do COT, principalmente nas camadas de 10-20 e 20-40 cm no intervalo entre colheitas de 24 meses, indica que para intervalos de colheitas mais longos de colheita, as doses testadas não foram suficientes para manter os teores deste no solo. Piccolo et al. (2004) constataram que o solo sob erva-mate com mais de 50 anos de cultivo apresentou grande redução dos estoques de C e 10 anos após a introdução de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schumach), entre as linhas de plantio, ocorreu aumento não somente do C, mas também da fertilidade do solo. Isso comprova que coberturas vegetais contribuem para o aporte de C no sistema.

Produtividade e status nutricional de N da erva-mate

A adubação nitrogenada promoveu aumento da produção de matéria verde de todos os componentes da planta avaliados (Figura 3), com exceção do galho grosso (GG) para colheita com intervalo de 12 meses (Figura 3c). Mas a resposta de produtividade dos componentes ocorreu de forma diferenciada entre intervalos de colheita. No intervalo de 24 meses, a produtividade máxima de folha (FO), galho fino (GF), GG e erva-mate comercial (COM), respectivamente de 20,7, 5,1, 12,5 e 25,9 t ha⁻¹ ocorreu na maior dose testada. No intervalo de 12 meses a maximização da produtividade de FO, GG e COM, ocorreu respectivamente, nas doses de 203, 182 e 197 kg ha⁻¹ de N. A maximização da produtividade de todos os componentes da copa, para intervalo de 18 meses, se deu em doses intermediárias às de 12 e 24 meses (Figura 3). Com a produtividade máxima do intervalo de 24 meses, detectada na maior dose para todos os componentes, indica que neste intervalo de colheita a dose de 320 kg ha⁻¹ de N foi insuficiente para que a planta demonstrasse seu potencial produtivo. Por outro lado, essa mesma dose prejudicou o crescimento da planta para intervalo de 12 meses.

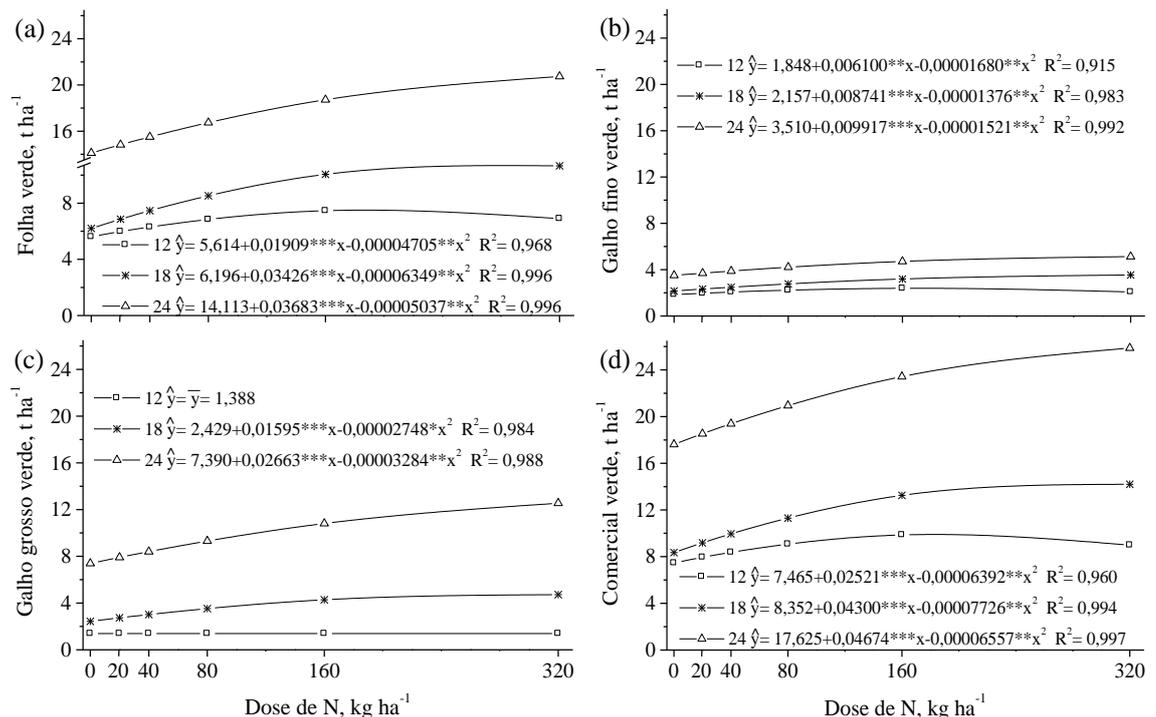


Figura 3. Produtividade de matéria verde de folhas (a), galhos finos (b), galhos grossos (c) e erva-mate comercial (d) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação nitrogenada. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F.

A resposta à adubação nitrogenada, mesmo que o solo (Quadro 1) apresentasse alto teor de CO (29,8 g kg⁻¹), demonstra que a demanda da planta por N é elevada e, ou, que o

nutriente estaria em formas muito estáveis no CO. Em ambientes preservados, o CO pode estar estabilizado fisicamente em micro e macroagregados (Paustian et al., 2000), restringido o acesso de microrganismos ao substrato (Davidson e Janssens, 2006; Taneva e Gonzalez-Meller, 2008) reduzido a mineralização do CO e, conseqüentemente, a disponibilidade do N. Neste contexto, na cultura da erva-mate já estabelecida, onde o revolvimento do solo não é feito, a existência de altos teores de CO não significa que as plantas terão adequado suprimento de N, sendo necessária a aplicação de adubo nitrogenado.

A adubação nitrogenada mostrou-se de grande importância na recuperação da planta após a colheita (Figura 4a). Sem adubação (Figura 4a) a produtividade de COM no intervalo de colheita (COM.PIC) de 24 meses foi duas vezes maior aos demais intervalos, indicando a necessidade de tempo mais longo entre colheitas para que a planta recomponha sua copa. Com a adubação nitrogenada as plantas colhidas no intervalo de 18 meses mostraram taxa de crescimento bem superior àquelas do intervalo de 12 meses. Fato comprovado na obtenção da produção máxima de COM incrementado pela dose (PID), sendo a de 18 meses ($6,1 \text{ t ha}^{-1}$) mais próxima à de 24 meses ($8,3 \text{ t ha}^{-1}$), comparativamente à de 12 meses ($2,8 \text{ t ha}^{-1}$) (Figura 4b).

Outro fato que indica que para a cultura da erva-mate devem-se evitar colheitas com intervalos curtos, é a menor eficiência do uso do nutriente (EUN) ocorrida para o intervalo de 12 meses (Figura 4c). A EUN reduziu com o aumento das doses nos três intervalos de colheita. A EUN mínima variou de 34,7 a 45,1 kg kg^{-1} , respectivamente, nas colheitas com 12 e 24 meses de intervalos.

A relação entre massas, verde e seca (MV/MS) de COM, só foi afetada pelo intervalo de colheita. A menor MV/MS foi observada no maior intervalo de colheita (Figura 4d). Contudo, a relação COM/GG foi maior no intervalo de 12 meses e menor no de 24 meses (Figura 4e). Considerando doses de 198, 278 e 320 kg ha^{-1} , nas quais ocorreu a máxima produtividade de COM, respectivamente nos intervalos de 12, 18 e 24 meses (Figura 3d), observou-se decréscimo na relação de COM/GG na mesma ordem, isto é, de 6,9, 3,0 e 2,1.

A resposta da erva-mate a adubação nitrogenada, ocorrida de forma expressiva para colheita com intervalo de 24 meses e, pouco pronunciada para intervalo de 12 meses, mostra que o fator tempo entre colheitas atua fortemente na quantidade de N requerida pela cultura. Outros fatores, como textura do solo (Lourenço et al., 1997) e densidade de plantas (Prat Kricun e Belinghere, 1995) também podem atuar na resposta

ao N. Aumento na produtividade de erva-mate em resposta à adubação nitrogenada foi verificado por Lourenço et al., (1997) somente em solo de textura média. Na Argentina Prat Kricun e Belinghere (1995) verificaram que quando a densidade de plantas era entre 1900 e 4000 planta ha⁻¹, mesmo com dose de 300 kg ha⁻¹ de N, o aumento da produtividade era linear. Contudo, em plantios entre 1100 a 1480 plantas ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹ de N foram suficientes para maximizar a produtividade. Após cinco colheitas anuais sucessivas, em plantio de 9 anos, Pandolfo et al. (2003) constataram produtividade média anual de 13,6 t ha⁻¹ com 153 kg ha⁻¹ de N. A máxima produtividade em plantios de primeira colheita obtida com 52,5 kg ha⁻¹ de N (Ribeiro et al., 2008), comparada à resposta positiva a altas doses (Prat Kricun e Belinghere, 1995; Lourenço et al., 1997) e constatada neste trabalho (variaram entre 180 a 320 kg ha⁻¹) sugere-se que a demanda por N pela erva-mate seja bem diferente a de culturas florestais tradicionais. Em espécies florestais, como é o caso do eucalipto, a resposta máxima ao N se dá na fase jovem (até 3 anos) e, na fase intermediária e adulta é pequena ou nula (Pulito, 2009). Para erva-mate a resposta ao N pode ser branda na fase jovem, porém, bem pronunciada na fase de produção. Isso decorre do fato de na cultura da erva-mate a parte colhida ser a folha, parte com maior concentração de N do que a madeira, componente colhido dos plantios de eucalipto.

A baixa COM.PIC verificada nos intervalos de colheita de 12 (7,2 t ha⁻¹) e 18 (8,2 t ha⁻¹) meses, quando comparada à de 24 meses (17,6 t ha⁻¹) (Figura 4a) demonstra que períodos curtos entre colheita, sem adubação, são insuficientes para que a planta se recomponha do impacto da remoção da copa pela colheita. A poda provoca um desequilíbrio entre folhas e raízes, requerendo uma reação compensatória da planta (Milano e Dalcin, 2000) que só ocorreu na colheita de 24 meses. Neste caso, a baixa produtividade estaria muito mais relacionada à limitada taxa fotossintética, proporcionada pela pequena área foliar, do que a restrições nutricionais (Epstein e Bloom, 2004), hipótese suportada pela boa COM.PIC no intervalo de 24 meses. Contudo, a máxima COM.PIC do intervalo de 18 meses, próxima a máxima COM.PIC de 24 meses (Figura 4b), sugere que a adubação nitrogenada auxiliou na recuperação de plantas com colheita de intervalo de 18 meses, mas o mesmo efeito não foi constatado na colheita com 12 meses de intervalo.

Na dose de máxima produtividade de COM (Figura 3d) a menor EUN (34,9 kg kg⁻¹ de N) foi observada no intervalo de 12 meses, quando comparada à de 18 (42,2 kg kg⁻¹ de N) e 24 meses (45,1 kg kg⁻¹ de N) (Figura 4c). Em condições nutricionais

limitantes, normalmente com pequenas doses de fertilizantes as plantas aumentam a absorção de nutrientes e a produção de forma linear, condição de alta eficiência de utilização de nutrientes (van Keulen, 1982). Em condição de alta disponibilidade de nutrientes, não é raro as plantas absorvê-los além de sua demanda, consequentemente reduzindo a EUN (Epstein e Bloom, 2004). Na erva-mate, além da disponibilidade do nutriente, intervalos de colheitas mais curtos também reduziram a EUN.

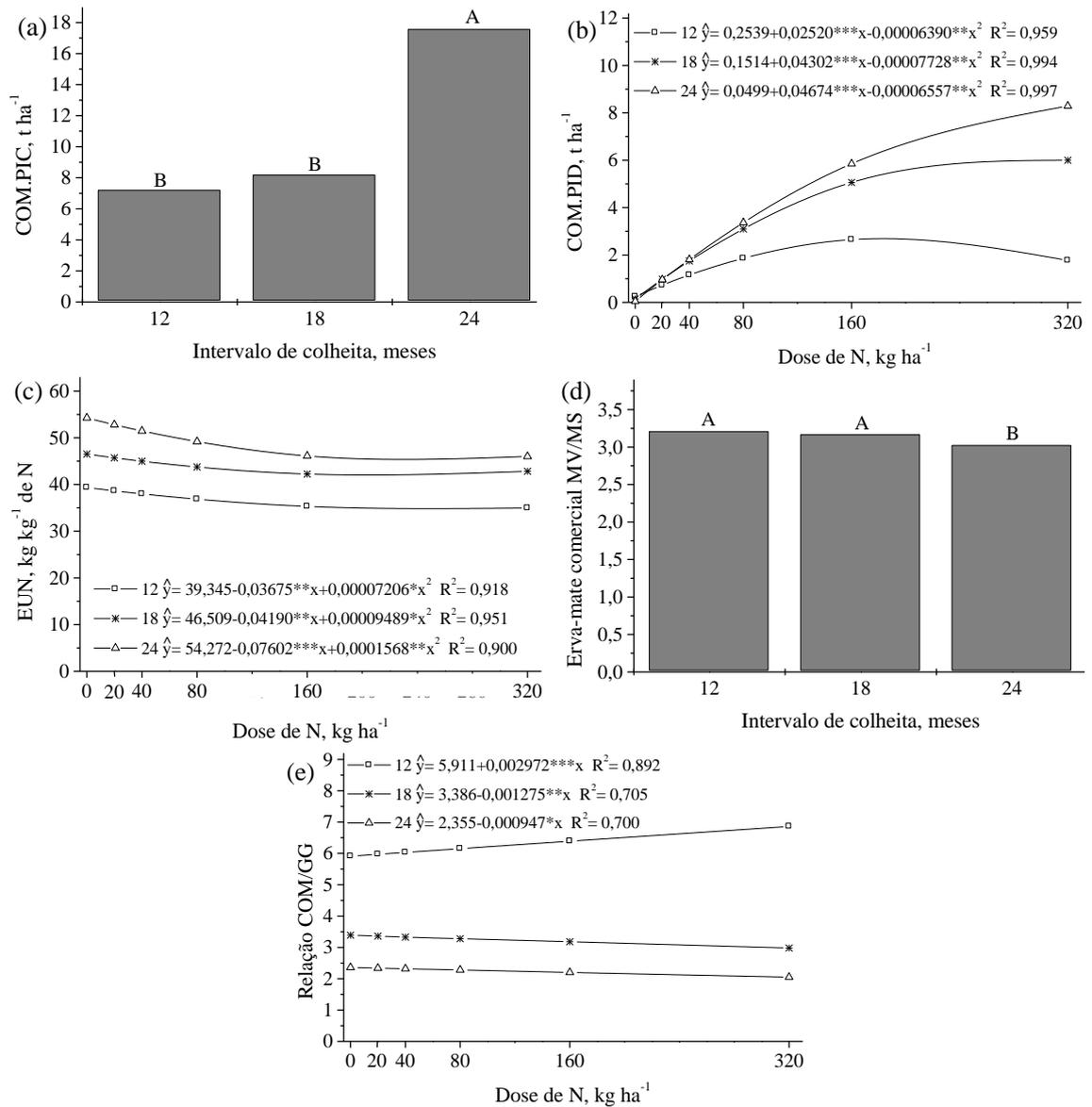


Figura 4. Produtividade de erva-mate comercial (COM) influenciada pelo intervalo de colheita (COM.PIC) (a) e pela dose (COM.PID) (b); eficiência de utilização do nutriente (EUN) (c); relação, entre peso verde e seco (MV/MS) de COM (d) e entre COM e galho grosso (GG) verde (e) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação nitrogenada. ** e ***, respectivamente, significativo a 1 e 0,1 % pelo teste F. Média dos três intervalos de colheita; e médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Na dose de máxima produtividade de COM (Figura 3d) a menor EUN (34,9 kg kg⁻¹ de N) foi observada no intervalo de 12 meses, quando comparada à de 18 (42,2 kg kg⁻¹ de N) e 24 meses (45,1 kg kg⁻¹ de N) (Figura 4c). Em condições nutricionais limitantes, normalmente com pequenas doses de fertilizantes as plantas aumentam a absorção de nutrientes e a produção de forma linear, condição de alta eficiência de utilização de nutrientes (van Keulen, 1982). Em condição de alta disponibilidade de nutrientes, não é raro as plantas absorvê-los além de sua demanda, consequentemente reduzindo a EUN (Epstein e Bloom, 2004). Na erva-mate, além da disponibilidade do nutriente, intervalos de colheitas mais curtos também reduziram a EUN.

A redução expressiva da relação entre os componentes COM/GG, à medida que os intervalos de colheita aumentaram e para intervalos de 18 e 24 meses à medida que aumentaram as doses, demonstra que altas produtividades de COM depende de grande investimento de energia pela planta para produção de GG. Ao comparar plantios com cinco anos estabelecidos com mudas propagadas via sexuada com assexuada, com colheitas a cada 24 meses, Santin et al. (2011) constataram COM/GG entre 1,0 e 1,2, relação bem abaixo dos 6,9, 3,0 e 2,1, respectivamente nos intervalos de 12, 18 e 24 meses na dose de máxima produtividade de COM.

O teor de N no tecido vegetal comportou-se de forma diferenciada nos diferentes componentes da copa, em função da dose e intervalo de colheita (Figuras 5a, b, c). Na folha, o teor máximo de N de 37,0, 37,2 e 34,0 g kg⁻¹ ocorreu respectivamente nas doses de 232, 241 e 262 kg ha⁻¹ e nos intervalos de 12, 18 e 24 meses entre colheitas (Figura 5a). No galho fino, somente no intervalo de 24 meses a adubação afetou o teor de N, com 15,4 g kg⁻¹ na maior dose testada (Figura 5b). No galho grosso, o teor máximo de N variou de 8,1 a 7,6 g kg⁻¹, respectivamente, nos intervalos de 12 e 18 meses (Figura 5c).

O conteúdo de N, que indica a exportação do elemento da área, determinado para os componentes COM e GG, ocorreu em quantidades bem diferenciadas entre componentes e, principalmente na COM, entre intervalos de colheita (Figuras 5d, e). Na COM, o conteúdo máximo de 98, 142 e 263 kg ha⁻¹ de N ocorreu respectivamente nos intervalos de 12, 18 e 24 meses (Figura 5d). No GG, a dose somente alterou o conteúdo de N nos intervalos de colheita de 12 e 24 meses, com valor de 14,8 e 40,3 kg ha⁻¹ de N (Figura 5e).

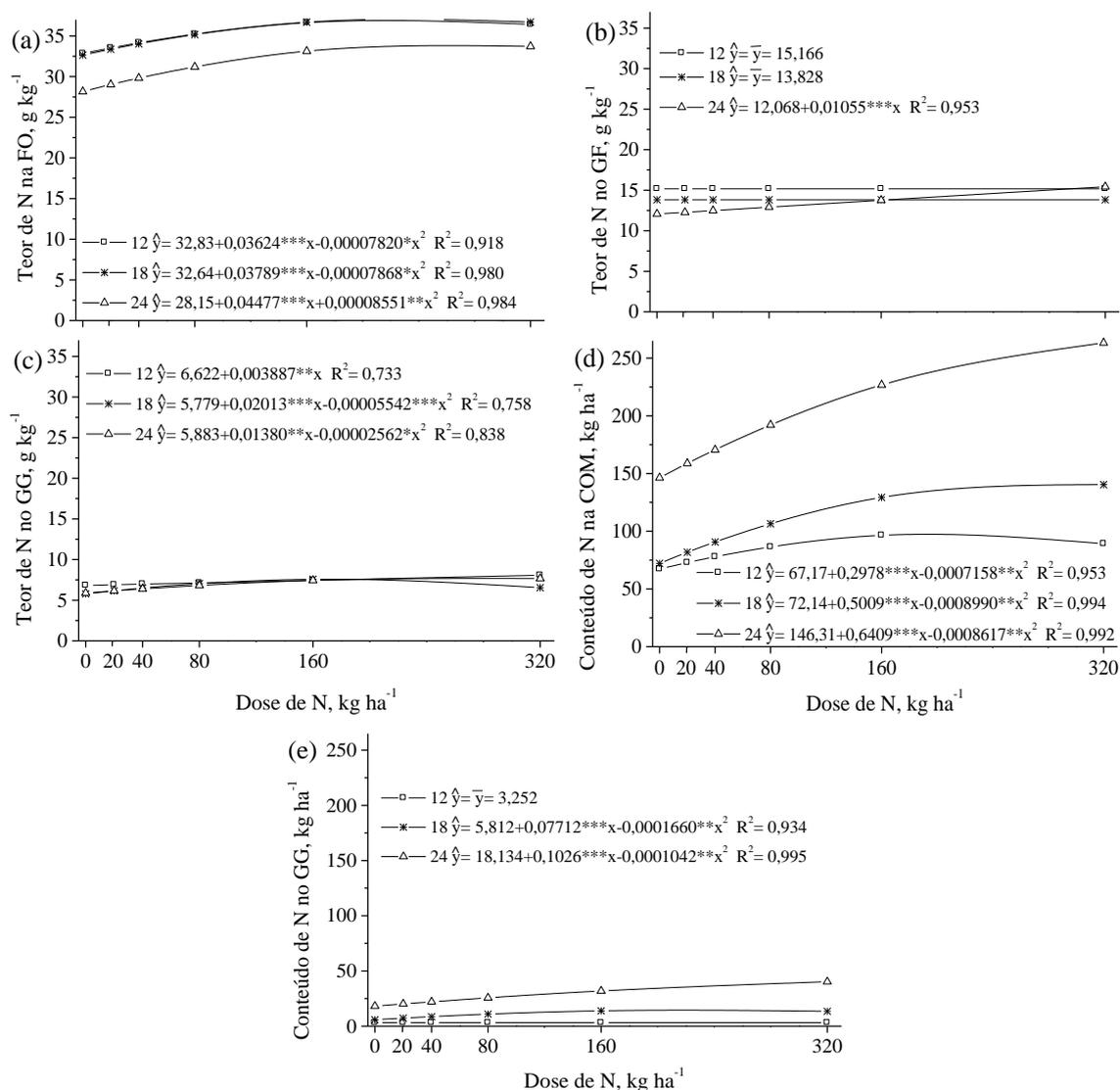


Figura 5. Teor de N nas folhas (FO) (a), galhos finos (GF) (b) e galhos grossos (GG) (c); e conteúdo de N na erva-mate comercial (COM) (d) e no GG (e) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação nitrogenada. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1, 0,1 % pelo teste F.

Considerando a dose de máxima produtividade de COM de cada intervalo de colheita (Figura 3d) o teor foliar de N de 36,9, 37,1 e 33,7 g kg⁻¹ (Figura 5a) está acima do verificado por outros autores, como 18,8 g kg⁻¹ (Reissmann et al., 1997) e 29,1 g kg⁻¹ (Pandolfo et al., 2003). Mas o teor foliar de N na erva-mate apresenta grande variação quando o tecido vegetal é avaliado no inverno e verão, como os respectivos 13,0 e 28,5 g kg⁻¹ observados por Ribeiro et al. (2008) para a mesma dose de N. Na caracterização nutricional de 16 cultivos de diferentes locais e idades, assim como, tipos de cultivo no Paraná, Reissmann et al. (1999) constataram teor foliar de N variando de 15,0 e 36,6 g kg⁻¹, que juntamente com os 46,9 g kg⁻¹ verificados por Brondani et al. (2008) dá uma dimensão da magnitude da variação e dificulta adequar uma faixa do teor foliar do

nutriente como ideal para a cultura da erva-mate. O menor teor foliar de N para colheita de 24 meses e a ampla gama de valores em diferentes trabalhos sugere que o teor crítico para a cultura da erva-mate deve ser definido para cultivos segundo faixas de idade, tipo de cultivo (pleno sol ou sombreado), estação do ano e intervalo entre colheitas.

O teor de N no GF e GG que variou, respectivamente, de 13,8 a 15,4 e 7,0 a 7,7 g kg⁻¹ (Figuras 5b, c), se assemelha aos teores entre 9,4 a 12,5 e 5,5 a 7,8 g kg⁻¹ encontrados por Campos (1991). Mas apesar de o GG ser o componente da copa com menor teor de N, quando a produção da área é considerável, como foi a de colheita com intervalo de 24 meses (Figura 3c), o conteúdo de N (Figura 5e) se torna expressivo. Em manejos de colheita que o GG é retirado da área, somando-se a COM, com colheitas com 18 e 24 meses sairia da área respectivamente, 156 e 304 kg ha⁻¹ de N. Na década de 80, quando o sistema brasileiro de colheita da erva-mate era baseado na extração nativa, Reissmann et al. (1985) já alertavam para a expressiva saída de nutrientes da área pela colheita. Atualmente, mesmo que o sistema de cultivo tenha privilegiado maior densidade de plantas por área e, concomitantemente, reduzido o tempo entre colheitas (Da Croce, 1997), a maioria da produção brasileira de erva-mate é oriunda de sistemas que não prevê a reposição dos nutrientes exportados pela colheita. Nota-se que, apesar da alta dose aplicada (320 kg ha⁻¹ de N) a diferença entre entrada e saída seria de apenas 16,5 kg ha⁻¹ de N na colheita de 24 meses. Diante deste resultado é compreensível a atual produtividade brasileira de erva-mate de 6,3 t ha⁻¹ (IBGE, 2012) e que, sem reposição nutricional não há sistema que seja sustentável e de alta produtividade.

CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada aumenta a disponibilidade de N lábil no solo para colheitas com menores intervalos de tempo.

Em colheitas com intervalo de 12 meses, a imobilização de N na decomposição de resíduos presentes na área é favorecida.

O aumento do carbono orgânico lábil em resposta a adubação nitrogenada é mais expressiva nos intervalos de 12 e 18 meses de colheita em todas as profundidades do solo. Para colheitas com intervalos de 24 meses, esse efeito ocorre somente na camada mais superficial do solo.

O intervalo de colheita não altera o teor de carbono orgânico total na camada superficial do solo. Nas camadas mais profundas, colheitas com 24 meses favorecem a redução do carbono total do solo.

Para colheitas com intervalo de 12 meses recomendam-se doses menores de 200 kg ha⁻¹ de N. Colheitas, com intervalo de 18 meses as doses de N devem estar abaixo de 280 kg ha⁻¹ e, com intervalos de 24 meses as doses podem superar 320 kg ha⁻¹ do nutriente.

Intervalo de colheita de 12 meses é insuficiente para a planta recompor a copa removida pela colheita. Colheitas com 18 meses de intervalo são recomendadas somente quando a cultura é nutrida adequadamente com N.

Teor foliar de N entre 33,0 e 37,0 g kg⁻¹ pode indicar plantas bem nutridas por este nutriente, independente do intervalo de colheita para cultivos em fase de produção.

Manejo de colheitas que prevê a saída da área do galho grosso, efetuadas nos intervalos de 18 e 24 meses deve ser previsto adicional, respectivamente, de 10 e 15 % na adubação nitrogenada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULAKH, M. S.; KHERA, T. S.; DORAN, J. W.; SINGH, K.; SINGH, B. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, 64:1867-1876, 2000.
- BERTÉ, K.; RUCKER, N.; RIBANI, R. H. Yerba mate *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Phytothérapie**, 9:180-184. 2011.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Soil Research**, 46:1459-1466, 1995.
- BRANDANI, C. B. **Decomposição de resíduos de eucalipto e efluxo de C-CO₂ em solos em diferentes locais do Brasil**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- BREMNER, J. M. **Nitrogen total**. In: SPARKS, D.L., ed. Methods of soil analysis. Madison: America Society of Agronomy, 1996.p.1085-1121.
- BRONDANI, G. E.; UKAN, D.; BORTOLINI, M, F.; CAMBRONERO, Y, C.; ROSSETTO, A.; REISSMANN, C. B. Distribuição de NPK em um povoamento de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Revista Floresta**, 38:267-275, 2008.
- CAMARGO, F. A. O; SILVA, L. S.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. **Nitrogênio orgânico do solo**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. 2.ed. Porto Alegre: Metropole, 2008.p.87-99.
- CAMPOS, M. A. A. **Balanco de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. 1991. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.
- CANTARELLA, H.; ANDRADE, C. A.; MATTOS JUNIOR, D. **Matéria orgânica do solo e disponibilidade de N as plantas**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.581-595.
- CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. **Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho**. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V., eds. Tecnologia de produção de milho. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.139-182.
- CARVALHO, P. H. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.
- CASTELLA, P. R.; BRITZ, R. M. de (Org.). **A floresta com araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 233 p.

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

DA CROCE, D. M. Poda de erva-mate: novos métodos desenvolvidos pela EPAGRI. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997. p.351-357.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, 440:165-173, 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 403p.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo em função da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:993-1000, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:893-901, 2005.

GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES. **Anuário Brasileiro da Erva-mate 1999**. Santa Cruz do Sul-RS. Ed. Pallotti, 1999. 64p.

GOSMANN, G.; BARLETTE, A.; DHAMER, T.; ARÇARI, D.; SANTOS, J.; CAMARGO, E. R.; ACEDO, S.; GAMBERO, A.; GNOATTO, S. C. B.; RIBEIRO, M. L. Phenolic compounds from maté (*Ilex paraguariensis*) inhibits dipogenesis in 3T3-L1 preadipocytes. **Plant Foods for Human Nutrition**, 67:156-161, 2012.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina. IAPAR, 1994. 49p.

IBGE. Produção Agrícola Municipal 2011. IBGE, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2012.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1033-1038, 2003.

LANZETTI, M.; BARROSO, M. V.; NESI, R. T.; LOPES, A. A.; TRAJANO, E. T. L.; ALVES, J. N.; BROGLIATO, A. R.; BORGES, P. A.; BENJAMIM, C. F.; PORTO, L. C.; VALENCA, S. S. Ready-to-drink matte® tea shows anti-inflammatory and antioxidant properties on a cigarette smoke exposure model. **Food Research International**, 48:798-801, 2012.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDÖRFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:363-376, 2000.

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. G.; MEDRADO, M. J. S. Avaliação de níveis de nitrogênio sobre a produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro, PR, em LATOSSOLO Vermelho escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 34:75-98,1997.

MEJÍA, E. G.; SONG, Y. S.; HECK, C. I.; RAMÍREZ-MARES, M. V. Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): Phenolics, antioxidant capacity and in vitro inhibition of colon cancer cell proliferation. **Journal of Functional Foods**, 2:23-34, 2010.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. Viçosa, ed. 2005, 77p.

MILANO, M.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000. 206p.

PANDOLFO, M. C.; FLOSS, P. A.; Da CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho alumino férrico. **Ciência Florestal**, 13:37-45, 2003.

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, 48:147-163, 2000.

PICCOLO, G. A.; GALANTINI, J. A.; ROSELL, R. A. Organic carbon fractions in a yerba mate plantation on a subtropical Kandí humult of Argentina. **Geoderma**, 123:333-341, 2004.

PRAT KRICUN, S. D.; BELINGHERI, L. D. **Aplicación de nitrógeno em plantaciones de yerba mate con diferentes densidades**. In: WINGE, H.; FERREIRA, A. G.; MARIATH, J. E. de. A.; TARASCONI, L. C. Erva-mate biologia e cultura no cone sul. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995, p. 73-79.

PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de Eucalyptus**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O.; HILDEBRAND, E. E. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). Curitiba, 1985, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985. p.128-139.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; DE QUADROS, R. M. B.; RADOMSKI, M. I. Production and foliar N, P, K, Ca and Mg levels in erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), related to increasing base saturation levels. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 40:241-249, 1997.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. Under different management conditions in seven localities of Paraná State. Bras. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 42:187-194, 1999.

- RIBEIRO, M. M.; REISSMANN, C. B.; CORRÊA, D. R. Nutrição da erva-mate com sulfato de amônio. **Cerne**, 14:204-211,2008.
- SAHRAWAT, K. L. Assay of nitrogen supplying capacity of tropical Rice soils. **Plant and Soil**, 65: 111- 121, 1982.
- SANTIN, D.; WENDLING, I.; MORANDI, D.; DOMINGOS, D. M.; BENEDETTI, E. L. Produtividade de erva-mate com mudas produzidas por miniestacas juvenis e por sementes. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5. Posadas, 2011, **Anais...** Posadas: INYM/ INTA/INaM, 2011. p.85-90.
- SATTERTHWAITE, F. E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics Bulletin**, 2:110-114, 1946.
- SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science Society of America Journal**, 162:795-807, 1997.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, SBCS, 2007. p.275-374.
- SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M. E. C.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio (¹⁵N) da crotalaria e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, 36:739-746, 2006.
- TANEVA, L.; GONZALEZ-MELER, M. A. Decomposition kinetics of soil carbon of different age from a forest exposed to 8 years of elevated atmospheric CO₂ concentration. **Soil Biology & Biochemistry**, 40:2670–2677, 2008.
- van KEULEN, H. Graphical analysis of annual crop response to fertilizer application. **Agricultural Systems**, 9:113-126, 1982.
- VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; DIECKOWB, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z. L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, 96:195–204, 2007.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19:1467-1476, 1988.

APÊNDICES

Quadro a1. Análise da variância para o teor de carbono lábil do solo

FV	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	4	0,493	0,123	0,414	0,794
Int.Colh.	2	1,130	0,565	1,902	0,211
Int.Colh. x Blo. (Resíduo-A)	8	2,377	0,297		
Dose	5	16,059	3,212	25,696	0,000
Dose x Int. Colh.	10	7,035	0,704	5,632	0,000
Dose x Int.Colh. x Blo. (Resíduo-B)	60	4,992	0,125		
Prof.	2	45,678	22,839	187,205	0,000
Prof. x Blo. (Resíduo-C)	8	0,973	0,122		
Prof. x Int.Colh.	4	3,641	0,910	18,958	0,000
Prof. x Dose	10	3,029	0,303	6,313	0,000
Prof. x Int.Colh. x Dose	20	3,623	0,181	3,771	0,000
Resíduo (D)	136	6,463	0,048		
Total	269	96,564			
CV A % (22,3)					
CV B % (14,5)					
CV C % (14,3)					
CV D % (9,0)					

Quadro a2. Análise da variância para produtividade de erva-mate comercial

FV	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	4	8,070	2,020	1,338	0,336
Int.Colh	2	2568,820	1284,410	850,603	0,000
Int.Colh. x Blo. (Resíduo-A)	8	12,100	1,510		
Dose	5	319,960	63,990	65,296	0,000
Dose x Int.Colh.	10	83,420	8,340	8,510	0,000
Resíduo- B	60	58,870	0,980		
Total	89	3051,230			
CV A % (9,1)					
CV B % (7,3)					

CAPÍTULO 3
MANEJO DE COLHEITA E ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA DA
ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) EM FASE DE PRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A exploração da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), espécie que no Brasil ocorre predominantemente na Região Sul (Carvalho, 2003), teve início antes do ano de 1800 e, em 1902 representava 98 % da produção de riqueza no estado do Paraná (Deitos, 2007). Fonte de renda para centenas de milhares de trabalhadores sulinos (Gazeta, 1999), esta cultura, que até o momento pouco se conhece de sua exigência nutricional, encontra-se em pleno declínio produtivo, colocando em dúvida essa atividade em médio prazo nesta região.

O fato de a erva-mate ocorrer naturalmente em ambiente de mata, principalmente na Floresta Ombrófila Mista Montana sob a exuberante Floresta com Araucária (Carvalho, 2003) fez do extrativismo o principal modelo de exploração da cultura. Colheitas que preconizavam intervalos entre 36 e 48 meses foram mantidas até final da década de 80, manejo este em que a ciclagem nutricional do ambiente nativo era suficiente para manter produtivos os esparsos indivíduos de erva-mate colhidos por área na época. O avanço de outras culturas, baseadas na supressão de áreas nativas, causou redução drástica nas áreas de ervais nativos. No intuito de atender a demanda por matéria prima, parte das pequenas áreas que permaneceram com ervais nativos foram manejadas, retirando-se outras espécies presentes e introduzindo novas plantas de erva-mate, originando cultivos de adensamento (Da Croce e Floss, 1999). Dos anos 90 em diante surgiram cultivos a pleno sol com alta densidade de plantas (Andrade, 1999). Da mesma forma que a densidade de plantas por área aumentou, o intervalo entre colheitas reduziu, sendo o de 12 e 18 meses os mais praticados (Da Croce e Floss, 1999; Carvalho, 2003). Essas mudanças na estrutura de condução e manejo de cultivos intensificaram a saída de nutrientes da área. O fato de atualmente o sistema de cultivo brasileiro de erva-mate ainda estar baseado num sistema extrativista, sem reposição nutricional, culmina na redução de mais de 60 % da produtividade brasileira de erva-mate por área nos últimos 21 anos (IBGE, 2012).

Os relatos de que a erva-mate ocorre naturalmente em solos de baixa fertilidade (Carvalho, 2003), aliado aos baixos teores foliares de P verificados na caracterização nutricional da espécie, sem registros de sintomas de deficiência, levou Reissmann et al. (1983) e Radomski et al. (1992) a considerá-la pouco exigente em P. No entanto, resposta positiva de mudas a altas doses de P (Santin et al., 2008) e com crescimento ótimo quando no solo o teor de P se situava entre 18,5 e 28,6 mg dm⁻³ (Santin et al., 2013) sinaliza que cultivos em fase de produção poderiam também responder a

adubação fosfatada. Mas em plantios com 9 anos em solo com teor de $4,2 \text{ mg L}^{-1}$ de P, Pandolfo et al. (2003) não constataram resposta à adubação. Em levantamento de produtividade de erva-mate em 20 municípios nos três Estados do Sul do Brasil, a máxima produtividade de $35,7$ e $32,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ foi obtida em solos com teor de P respectivamente de $30,0$ e $7,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Lourenço, 1997). De certa forma as escassas informações da demanda por P pela cultura a campo são contraditórias e necessitam de estudos para maiores esclarecimentos.

Na década de 80, Reissmann et al. (1985) já alertavam que para a cultura da erva-mate, cujo produto da colheita é constituído principalmente por folhas e galhos finos, a exportação de nutrientes da área é expressiva. Daquela época até hoje, raros foram os experimentos nutricionais a campo com essa cultura. Mesmo praticamente sem resultados de campo, em 2004 foi lançada a recomendação de adubação para a cultura da erva-mate para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, indicando a dose máxima de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 (CQFS-RS/SC, 2004). Considerando que a alta afinidade do P com as argilas, principalmente nos solos mais intemperizados, faz com que grande parte deste permaneça retido fortemente na fase sólida (Santos et al., 2008), tendo casos em que mais de 90 % do P pode ser adsorvido pela argilas nas primeiras horas de contato com o solo, permanecendo poucas frações disponíveis às plantas (Gonçalves et al., 1985). Nessas condições, dose de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicada a cada intervalo de colheita em condição de nível muito baixo de P no solo dificilmente contribuirá na melhoria da disponibilidade do nutriente à cultura.

Diante disto, o trabalho teve por objetivo avaliar a resposta da erva-mate e a disponibilidade de fósforo no solo em ervais manejados com diferentes intervalos de colheita e submetidos à adubação fosfatada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de São Mateus do Sul - PR, localizado no segundo Planalto Paranaense, entre a longitude de $50^{\circ}22'58''\text{O}$ e latitude de $25^{\circ}52'27''\text{S}$. O clima da região é temperado (Cfb), tendo precipitação média anual entre 1600 a 1800 mm (IAPAR, 1994). Na região a altitude varia de 800 a 1000 m, com predominância de Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro e Cambissolos (Castella e Britez, 2004). O solo do local do experimento, Latossolo Vermelho Escuro álico, apresenta baixos teores de bases e altos de Al e carbono orgânico (CO) e disponibilidade de P muito baixa (Quadro1).

Quadro 1. Teor de argila e propriedades químicas do solo de 0 a 20 cm de profundidade no local do experimento, São Mateus do Sul-PR.

CO	pH	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7,0}	V	m	Argila	K
g kg ⁻¹	H ₂ O	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	%	-----	mg dm ⁻³
31,22	3,92	4,47	15,78	17,27	8,60	71,23	77,00	56,80
Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	S-SO ₄ ²⁻	Cu	Zn	Fe	Mn	B
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
cmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----
0,95	0,39	1,31	7,78	14,42	2,61	74,23	26,32	0,64

Extrator: Extrator: Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹): P, K, Fe, Mn, Cu e Zn; KCl (1 mol L⁻¹): Ca, Mg e Al; Calcinação e solução HCl: B e Fosfato de cálcio: S

Em 2001, após remoção de quase a totalidade da mata, permaneceram na área indivíduos esparsos de erva-mate nativa, araucária, imbuia e canela. Em seguida, realizou-se o plantio da erva-mate no espaçamento 2 x 2 m com mudas propagadas por sementes.

A primeira colheita de erva-mate (poda de formação) foi efetuada 24 meses após o plantio a, aproximadamente, 1 m de altura do solo e as demais colheitas, até o momento da instalação do experimento, efetuadas a cada 18 meses. Na área nunca foi realizada calagem e adubações, sendo apenas cultivada aveia no inverno.

Quando necessário, realizou-se o controle da broca-da-erva-mate (*Hedypathes betulinus* (Klug.)) e lagartas (*Thelosia camina* (Schaus) e *Hylesia nigricans* (Berg)), respectivamente com os inseticidas biológicos Bovimax® e Dipel®. A limpeza do erval foi realizada com roçadas mecânicas nos meses de janeiro, abril e setembro de cada ano.

O experimento foi instalado em janeiro de 2009 e testaram-se colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses e seis doses de fósforo, tendo como fonte o superfosfato triplo. As doses consistiram em 0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No momento da instalação do experimento, aplicou-se, superficialmente em área total 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, conforme CQFSRS/SC (2004). Como adubação complementar de N e K aplicou-se 80 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, na forma de uréia e cloreto de potássio.

Os tratamentos foram arranjos no fatorial 3 x 6 em esquema de parcela subdividida, com três intervalos de colheita e seis doses de P₂O₅, sendo a parcela constituída dos intervalos de colheita e a subparcela pelas doses. Cada unidade experimental foi composta por 10 plantas úteis, com duas linhas de bordadura. Os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos casualizados com cinco repetições.

A adubação complementar e as doses de P₂O₅ foram parceladas, sendo aplicadas superficialmente na área da projeção da copa sem incorporação, sempre no início dos meses de janeiro e setembro. Na colheita com intervalo de 12 meses as doses de P₂O₅ e

a adubação complementar foram parceladas em duas vezes. Para as colheitas com intervalo de 18 e 24 meses as doses de P_2O_5 foram parceladas em três vezes e a adubação complementar em duas vezes (duas primeiras aplicações). Na colheita com intervalo de 24 meses, a última parcela da dose foi aplicada quatro meses antes da colheita.

Foi efetuada uma colheita para cada intervalo de 12, 18 e 24 meses, respectivamente, em jan/2010, ago/2010 e jan/2011. A colheita foi realizada retirando-se aproximadamente 95 % da matéria verde, da qual foi separada a erva-mate comercial (COM= folha+galho fino) do galho grosso (GG) e determinada a quantidade de matéria verde de ambos. O corte para a colheita foi efetuado entre 10 a 15 cm acima da posição da última poda. Considerou-se como galho fino (GF) os galhos com diâmetro menor de 7 mm aproximadamente e, acima deste diâmetro como galho grosso.

No momento da colheita, coletou-se nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, uma amostra de solo em cada parcela composta por 15 amostras simples coletadas em três pontos na área da projeção da copa de cinco plantas. As amostras da camada de 0-10 cm foram coletadas com pá de corte, em uma faixa de 20 cm de largura por 3 cm de espessura. Em seguida, nos mesmos pontos foi coletado solo com trado holandês nas demais profundidades. As amostras foram secas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm e analisadas para determinar o P disponível.

Antes da colheita, coletaram-se amostras de folhas (FO) e GF na metade da altura da copa para determinação da relação entre matéria verde e seca e do teor de P. No momento da colheita, em cada parcela retirou-se uma amostra representativa de GG, para essas mesmas determinações. A FO foi separada do GF e após quantificar a matéria verde o material foi lavado, seco a 65 °C até peso constante, pesada a matéria seca e passado em moinho tipo Wiley com peneira de 0,5 mm de abertura.

No solo o P foi analisado quimicamente (relação solo: solução extratora de 1:10 v/v) pelo extrator Mehlich-1 ($HCl\ 0,05\ mol\ L^{-1} + H_2SO_4\ 0,0125\ mol\ L^{-1}$) (De Filippo e Ribeiro, 1997) e determinado por colorimetria pela redução do fosfomolibdato pela vitamina C (Braga e De Filippo, 1974). No tecido vegetal, o P total foi extraído por digestão nitroperclórica e determinado por colorimetria pela redução do fosfomolibdato pela vitamina C (Braga e De Filippo, 1974).

Quantificou-se a produtividade de matéria verde dos componentes, folha (FO), galho fino (GF), galho grosso (GG) e erva-mate comercial (COM). Para a COM foi também calculada a produtividade: 1) influenciada pelos intervalos de colheita

(COM.PIC= produtividade na dose zero em cada intervalo de colheita); e 2) influenciada pela dose (COM.PID= produtividade incrementada pela adubação (COM.PID= COM – COM.PIC). A eficiência de utilização dos nutrientes (EUN), para P, foi calculada pela razão entre matéria seca dos componentes colhidos da planta (COM+GG) e o conteúdo do nutriente acumulado (kg kg^{-1} de P) (BARROS et al., 1986). A Taxa de recuperação de P pela planta (TR.pl) em percentagem, do P aplicado com o fertilizante, foi calculada pela fórmula:

$$TR, pl = \left(\frac{\text{Conteúdo de P nas plantas adubadas} - \text{Conteúdo de P nas plantas com dose zero}}{\text{Dose de P aplicado}} \right) \times 100, \text{ em que}$$

o conteúdo de P dos componentes colhidos (COM+GG).

A relação entre peso de matéria verde e seca (MV/MS) foi calculada para FO (FO.MV/MS) e COM (COM.MV/MS).

Na análise estatística da característica do solo, os fatores - intervalo de colheita, dose e profundidade, compuseram, respectivamente, parcela, subparcela e sub-subparcela. Para as características da planta, os fatores - intervalo de colheita e dose, compuseram, respectivamente, parcela e subparcela. Os dados foram submetidos à Anova. As médias referentes ao efeito do intervalo de colheitas foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e o efeito da dose de P avaliado por análise de regressão. Para o P do solo, no desdobramento das interações entre o fator da parcela e subparcela e ou sub-subparcela (profundidade), no sentido de avaliar o efeito da subparcela dentro da parcela e ou sub-subparcela, adotou-se como erro o quadrado médio do resíduo combinado e o respectivo número de graus de liberdade, conforme Satterthwaite (1946).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Fósforo disponível no solo

A disponibilidade de P no solo aumentou com as doses de adubação nas camadas mais superficiais (Figura 1). Na profundidade de 0-10 cm, onde o aumento foi mais expressivo, apresentou o maior teor de 12,6, 11,1 e 10,1 mg dm^{-3} , respectivamente, nos intervalos entre colheitas de 18, 12 e 24 meses na maior dose testada (Figura 1a).

O pequeno aumento da disponibilidade de P na profundidade de 10-20 cm (Figura 1b) e a manutenção da mesma na camada mais profunda (Figura 1c) são reflexos de sua alta afinidade de ligação com as argilas do solo, e que deve ter ocorrido na camada de 0-20 cm de solo. Em solos altamente intemperizados, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e

quimicamente (Novais; Smyth, 1999; Novais; Mello, 2007; Rheinheimer et al., 2008), propriedades que dificultam a mobilidade de P no solo aplicado via fertilizantes, favorecendo a formação de um gradiente com maior concentração do nutriente na camada superficial (Rheinheimer et al., 2003; Tiecher et al., 2012). A alta acidez (Souza et al., 2006) e disponibilidade de Al e Fe também favorecem a precipitação de P em formas não disponíveis para as plantas (Vilar et al., 2010), características do solo (Quadro 1) que podem ter contribuído na adsorção de P e limitado sua mobilidade.

O aumento da disponibilidade de P ocorreu de forma diferenciada entre as profundidades, sendo linear na camada de 10-20 cm e quadrático positivo na camada de 0-10 cm. Normalmente, solos com baixa disponibilidade de P e com propriedades favoráveis a sua adsorção, a maior parte do P aplicado é imobilizada pelo solo. No entanto, adubações fosfatadas sucessivas ou em altas doses, tende a saturar os sítios adsorptivos de maior energia, permitindo que parte do P permaneça ligada com menor energia à fase sólida, proporcionando maior aumento na disponibilidade de P no solo (Rheinheimer et al., 2000b). Isso explica os aumentos mais expressivos de P na maior dose na camada superficial (Figura 1a).

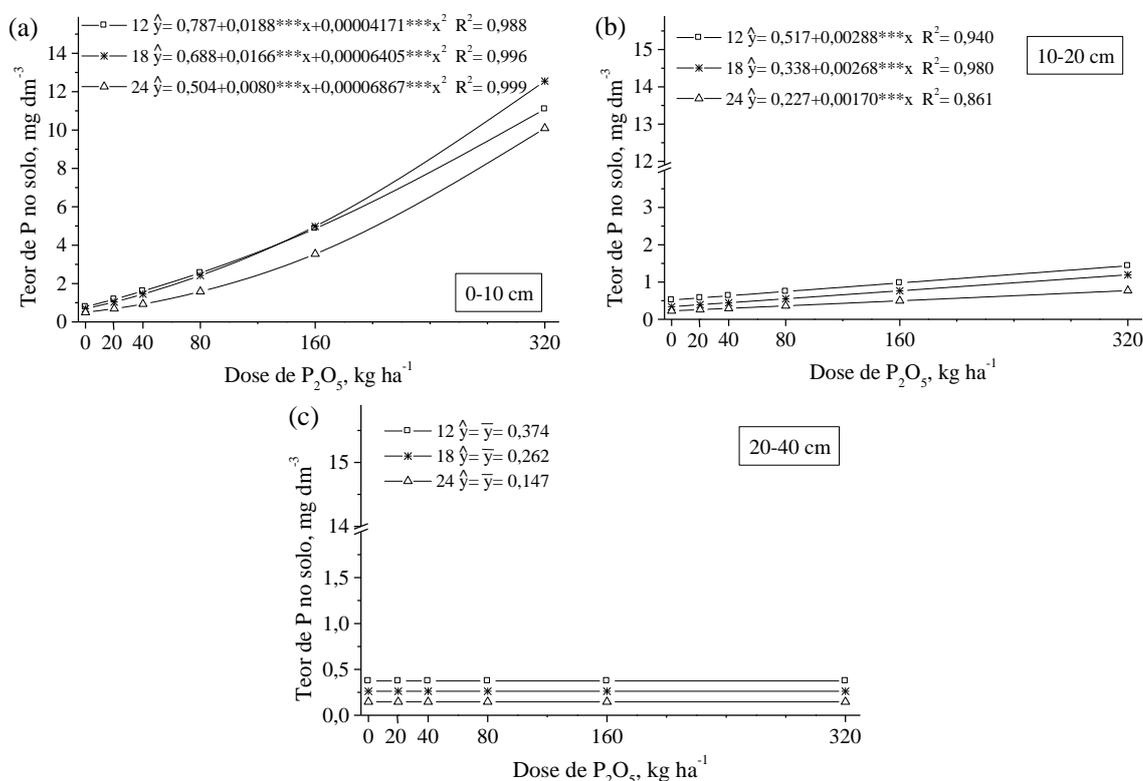


Figura 1. Disponibilidade de P no solo extraído por Mehlich-1 nas camadas de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses em plantio de erva-mate submetido à adubação fosfatada. ***, significativo a 0,1 % pelo teste F.

O caráter covalente, na forma de ligação entre o P e argilas, favorece a adsorção específica entre o elemento e óxidos, favorecendo sua baixa mobilidade no solo (Scwertmann e Taylor, 1989; Novais e Smyth, 1999; Novais et al., 2007; Rheinheimer et al., 2008). Com essas características não se esperaria que a adubação fosfatada aplicada superficialmente alterasse a disponibilidade de P abaixo da camada de 0-10 cm de solo. Outros fatores, como o físico e biológico, devem ser considerados para tal fato.

A condução da erva-mate com tratos silviculturais e colheitas sem ações mecânicas na área, privilegia a estrutura do solo e, somada à camada de serapilheira formada pela araucária, por plantas espontâneas e por resíduos de colheitas, favorecem a atividade biológica. Nesta condição, o fósforo orgânico originário dos resíduos vegetais, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (Rheinheimer et al., 2000a; Martinazzo et al., 2007), pode constituir de 5 a 80 % do fósforo total do solo e é fonte de fósforo para as plantas e deve ser levado em consideração em estudos envolvendo a sua dinâmica e a biodisponibilidade (Rheinheimer e Anghinoni, 2003). Formas orgânicas solúveis favorecem a mobilidade do P, possibilitando sua redistribuição deste no perfil do solo (Novais e Smyth, 1999). Isto pode ter contribuído para o aumento da disponibilidade de P além da camada mais superficial do solo.

Produtividade e status nutricional de fósforo da erva-mate

A erva-mate respondeu positivamente às doses de adubação fosfatada, com aumento da produtividade de folha (FO), galho fino (GF), galho grosso (GG) e erva-mate comercial (COM), nos três intervalos de colheita (Figuras 2a, b, c, d). Em todos os componentes, no intervalo de 24 meses ocorreu a maior produtividade e no de 12 meses a menor.

As doses da adubação fosfatada para maximizar a produtividade variaram entre componentes dentro de cada intervalo de colheita, assim como, entre os intervalos de colheita. No intervalo de 24 meses somente a produtividade de GF foi maximizada em doses menores de 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Nos intervalos de 18 e 12 meses a máxima produtividade dos componentes ocorreu entre doses, respectivamente, de 278-300 e 211-222 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

A ordem crescente de produtividade máxima de cada componente, respectivamente para os intervalos de 12, 18 e 24 meses foi GF com 2,7, 3,0 e 4,3 t ha⁻¹ (Figura 2b); GG com 1,9, 4,2 e 10,2 t ha⁻¹ (Figura 2c); FO com 7,7, 10,4 e 19,3 t ha⁻¹ (Figura 2a) e COM de 10,4, 13,4 e 23,6 t ha⁻¹ (Figura 2d). Sendo o GG para o intervalo

de 12 meses o único componente que não seguiu a sequência, com produtividade menor do que a do GF. A notória superioridade da produtividade de todos os componentes para o intervalo de 24 meses é dependente também de doses mais elevadas da adubação fosfatada, quando comparado aos demais intervalos de colheita.

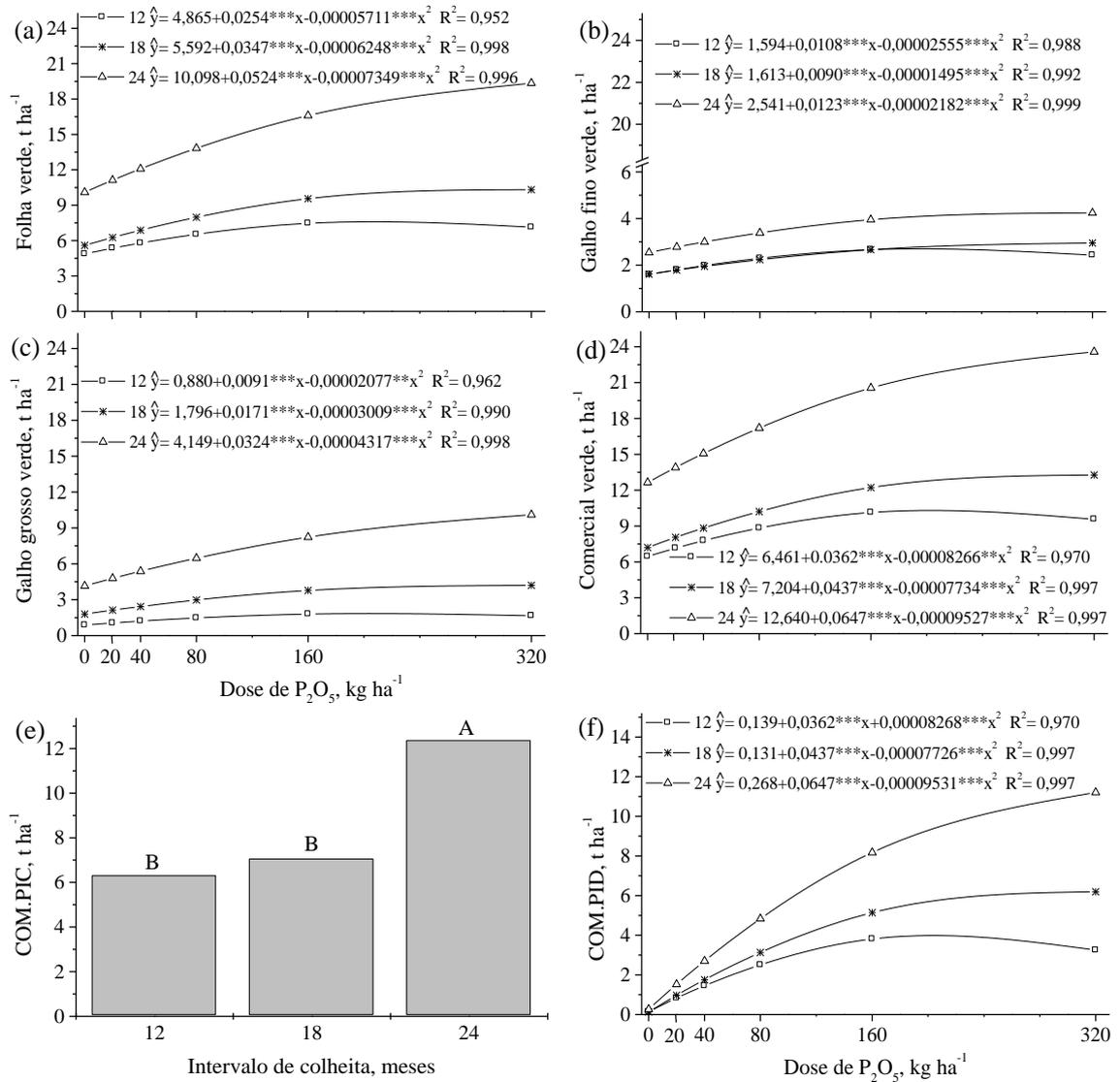


Figura 2. Produtividade de matéria verde de folhas (a), galhos finos (b), galhos grossos (c) e erva-mate comercial (COM) (d); produtividade de COM pelo efeito do intervalo de colheita (COM.PIC) (e) e pelo efeito da dose (COM.PID) (f) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação fosfatada. ** e ***, respectivamente, significativo a 1 e 0,1 % pelo teste F. Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

No desmembramento da produtividade COM, analisando isoladamente o efeito do intervalo de colheita (COM.PIC) (Figura 2e) e da dose (COM.PID) (Figura 2f) é evidente a participação de cada fator na produtividade da planta. A COM.PIC, sem diferença estatística e inferior para intervalo de 12 e 18 meses, quando comparada a de

24 meses, indica que quando o cultivo de erva-mate não é adubado a planta só consegue se recuperar do impacto da colheita anterior quando o tempo entre colheitas é mais longo (Figura 2e). Contudo a máxima COM.PID de 4,1 e 6,3 t ha⁻¹, respectivamente, no intervalo de 12 e 18 meses entre colheitas, mostra a importância da adubação fosfatada na recuperação da planta, principalmente para o intervalo de 18 meses (Figura 2f). Mas com COM.PID máxima de 11,2 t ha⁻¹, o intervalo de 24 meses ainda foi o que proporcionou maior produção pelo efeito dose.

A eficiência de utilização do nutriente (EUN) diminuiu à medida que se aumentaram as doses. No intervalo de colheita de 12 meses, a EUN mínima (737 kg kg⁻¹ de P) ocorreu na maior dose testada. Já nos intervalos de colheitas de 18 e 24 meses, a EUN mínima, respectivamente, de 921 e 861 kg kg⁻¹ de P nas respectivas doses de 267 e 249 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 3a). A mesma tendência ocorreu para a taxa de recuperação do K pela planta (TR.pl) dos componentes colhidos, do nutriente aplicado pela adubação. Ou seja, a TR.pl reduziu com aumento das doses, contudo, aumentou com o aumento do intervalo de tempo entre colheitas (Figura 3f). A TR.pl mínima de 1,5, 3,2 e 5,6 %, respectivamente, nos intervalos de colheita de 12, 18 e 24 meses ocorreu na maior dose de adubação.

Na relação entre massas, verde e seca (MV/MS), os componentes FO (Figura 3b) e COM (Figura 3c) foram afetados pelo intervalo de colheita e dose. Porém, a MV/MS da FO e da COM somente no intervalo de 18 meses as doses de P atuaram, apresentando relação mínima de 3,1 respectivamente na dose de 268 e 265 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A relação entre os componentes FO/GF, os quais formam a COM, somente foi afetada pelo intervalo de colheita (Figura 3e), tendo o intervalo de 12 meses relação inferior e, o intervalo de 24 meses superior aos demais com 4,2. Já na COM/GG, além do intervalo de colheita as doses também afetaram a relação, reduzindo os valores com as doses (Figura 3d). Nos intervalos de 18 e 24 meses, respectivamente com COM/GG mínima de 3,1 e 2,3 ocorridas na dose máxima e, no intervalo de 12 meses o mínimo de 5,3 ocorreu na dose de 212 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

A adubação fosfatada estimulou o aumento do teor total de P no tecido vegetal de todos os componentes da copa e para os diferentes intervalos de colheita (Figuras 4a, b, c). O conteúdo de P na COM e no GG também apresentaram aumento com as doses de P₂O₅ (Figuras 4d, e), contudo a medida que o intervalo entre colheitas aumentou a proporção do conteúdo de P no GG aumentou e na COM diminuiu (Figura 4f).

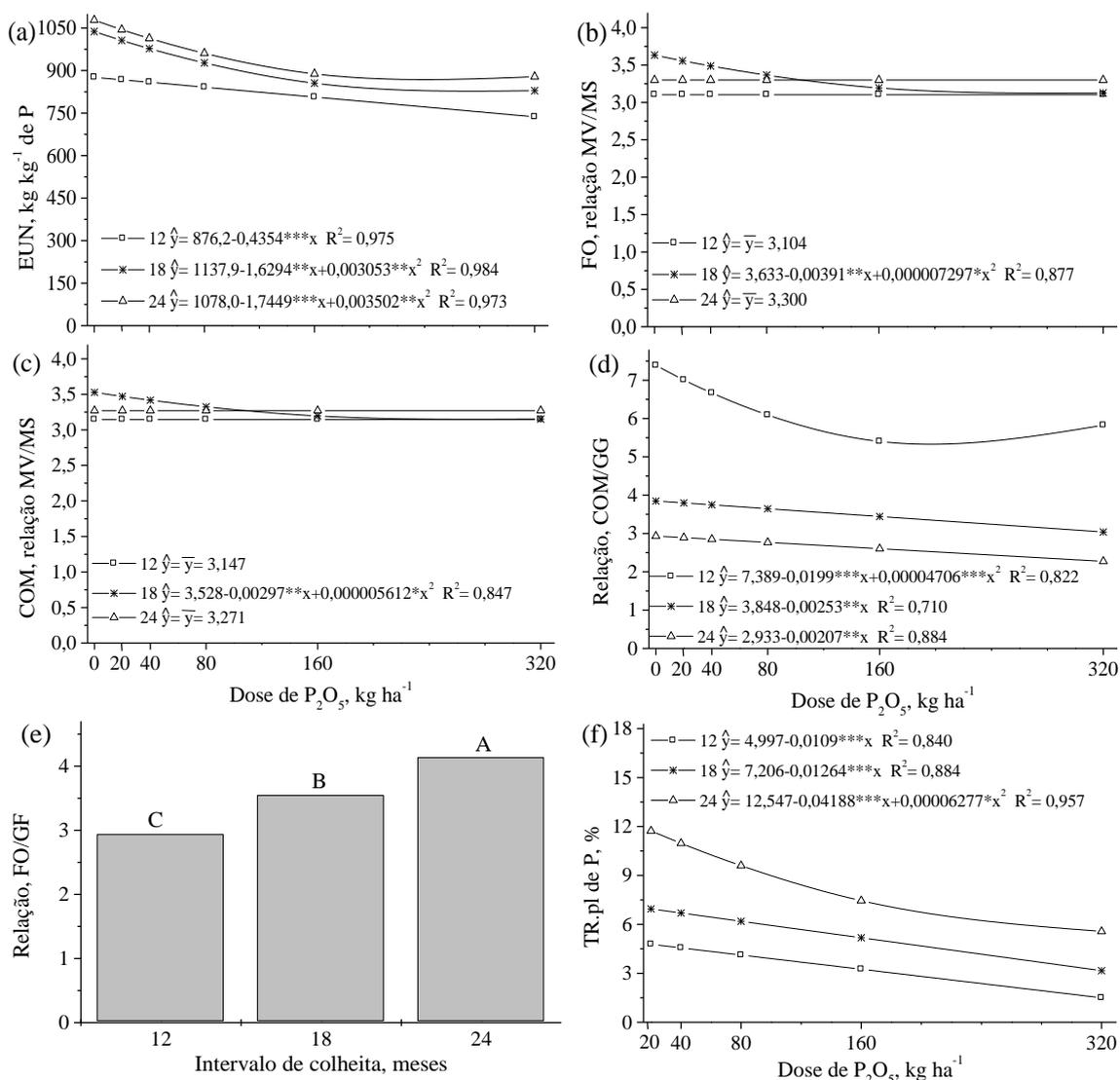


Figura 3. Eficiência da utilização do nutriente (EUN) (a); relação, entre massa verde e seca (MV/MS) de folha (FO) (b) e de COM (c); relação entre componentes, FO/GG (e) e COM/GG (d); e taxa de recuperação de K pela planta (TR.pl) (f) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação fosfatada. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1, 0,1 pelo teste F. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

O teor de P foliar aumentou linearmente com as doses no intervalo entre colheitas de 12 meses. No intervalo de 18 e 24 meses o teor máximo, respectivamente, de 1,6 e 1,3 g kg^{-1} ocorreu na dose de 305 e 248 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 4a). O teor de P no galho fino (GF) no intervalo de 12 meses manteve a mesma tendência do teor foliar. Já para o intervalo de 24 meses, com teor máximo de 1,8 g kg^{-1} foi superior ao máximo de 1,1 g kg^{-1} ocorrido no intervalo de 18 meses (Figura 4b). Com teor de P menor que os demais componentes, o GG apresentou para o intervalo de 18 meses o teor mínimo de 0,6 g kg^{-1} e, para o intervalo de 12 meses o maior teor de 0,7 g kg^{-1} (Figura 4c).

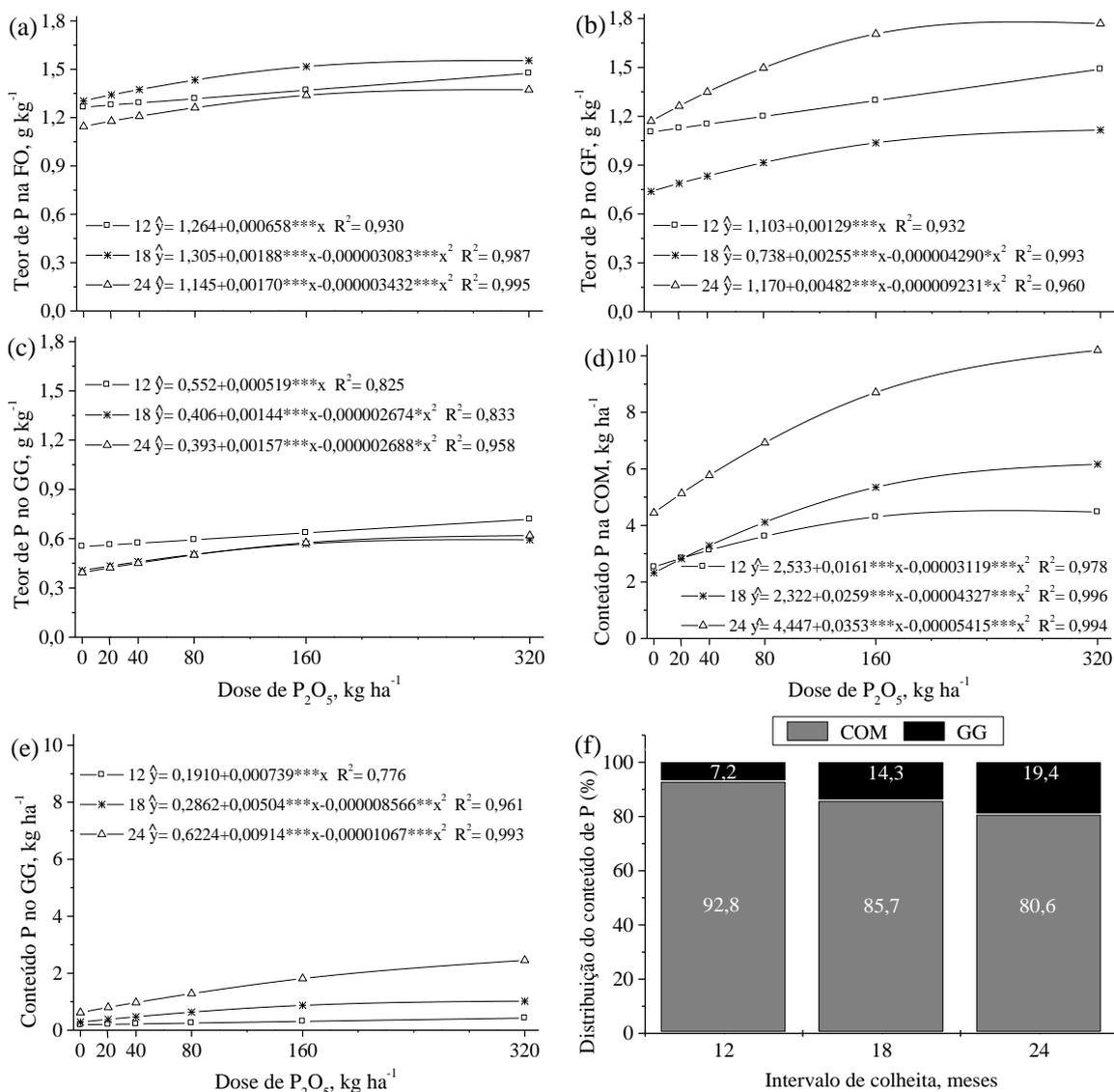


Figura 4. Teor de P nas folhas (FO) (a), galhos finos (GF) (b) e galhos grossos (GG) (c); e conteúdo de P na erva-mate comercial (COM) (d) e no GG (e); e distribuição do conteúdo de P na COM e GG na dose de máxima produtividade de COM para cada intervalo de colheita (f) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação fosfatada. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1, 0,1 % pelo teste F.

A exportação de P de cada componente, representada pelo conteúdo de P, apresentou na COM o máximo de 4,6, 6,2 e 10,2 kg ha⁻¹, respectivamente, nos intervalos de 12, 18 e 24 meses (Figura 4d). Para o GG o conteúdo máximo de 0,4, 1,0 e 2,4 kg ha⁻¹ ocorreu, respectivamente, nos intervalos de 12, 18 e 24 meses (Figura 4e). É notório que em colheitas com intervalo de 12 meses o conteúdo de P no galho representa uma pequena fração (7,2 %), comparado ao conteúdo na COM. Por outro lado, em colheitas com intervalo de 24 meses a exportação de P pelo GG atinge 19,4 % do total dos componentes colhidos da copa da planta (Figura 4f).

A resposta da erva-mate à adubação fosfatada sempre foi tida como pouco provável. Na década de 80 do século passado, quando Reissmann et al. (1983) caracterizaram o estado nutricional de cultivos nativos adultos, com intervalo de colheita de 24 meses sem tratos silviculturais, verificaram que as plantas com teor foliar médio de $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ de P e com disponibilidade do elemento no solo de $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ não apresentavam sintomas de deficiência em P. Nesta condição os autores sugeriram que a erva-mate poderia estar com deficiência oculta em P ou essa baixa exigência ser característica da própria espécie. Radomski et al. (1992), ao avaliarem o teor foliar de nutrientes em plantas jovens de erva-mate em condição natural com disponibilidade de P no solo de $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$, também sugeriram que esta espécie poderia ser pouco exigente em P. Em experimentos com doses de P, realizados por Pandolfo et al. (2003), com cultivo em fase de produção em solo muito argiloso e teor inicial de P de $4,2 \text{ mg L}^{-1}$, não houve resposta positiva e doses anuais em torno de 50 kg ha^{-1} seriam suficientes para manter uma boa produtividade. No entanto, os resultados obtidos neste trabalho mostram que em baixa disponibilidade de P no solo há boa resposta da erva-mate a adubação fosfatada. Considerando a dose de máxima produtividade COM de 219, 283 e 300 kg ha^{-1} (Figura 2d), respectivamente, para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses, os respectivos teores de P no solo na profundidade de 0-10 cm de 6,9, 10,5 e $10,1 \text{ mg dm}^{-3}$ são classificados como altos (CQFS-RS/SC, 2004). No levantamento de produtividade de erva-mate realizado por Lourenço (1997) nos Estados do Sul do Brasil, produtividades anuais de 35,7 e $32,7 \text{ t ha}^{-1}$ com teores de P no solo, respectivamente de 30,0 e $7,0 \text{ mg dm}^{-3}$ também mostra que pode haver relação entre boa disponibilidade de P e altas produtividades de erva-mate. A suposta baixa exigência da erva-mate ao P (Reissmann et al., 1983; Radomski et al., 1992) se contrapõe ao verificado por Lourenço (1997) e aos resultados presentes. Parece que em ambiente natural, em solos com baixa disponibilidade de P, a erva-mate administra suficientemente bem a restrição de P sem comprometer, visivelmente, seu bom status nutricional. No entanto, produtividades elevadas de erva-mate dependem de condição de P no solo em níveis altos de disponibilidade.

A demanda por P e a resposta à adubação fosfatada da erva-mate pode variar em função da idade da copa em que é efetuada a colheita. Em termos de resposta à adubação fosfatada, a COM.PIC de 6,3, 7,1 e $12,4 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente, em 12, 18 e 24 meses (Figura 2e), quando comparada a COM.PID máxima do efeito dose (Figura 2f), proporcionou aumento respectivo de 65, 89 e 90 % da produtividade de COM

(Figura 2d e Quadro 2). A menor resposta às doses do intervalo de 12 meses é indicativa que neste período de tempo, mesmo bem nutrida em P, não é suficiente para que a planta consiga recompor a parte aérea e radicular a tempo para obter boa produtividade. Neste caso, a baixa produtividade não estaria relacionada a restrições nutricionais, mas sim, a limitação fotossintética causada pela reduzida área foliar (Epstein e Bloom, 2004), provocada pelo desequilíbrio entre copa e raízes, requerendo uma reação compensatória da planta (Milano e Dalcin, 2000) que só ocorreu nas colheitas com maiores intervalos de tempo.

A menor EUN e TR.pl de P no intervalo de 12 meses, indicam que colheitas com menor intervalo de tempo sejam pouco recomendadas para a cultura da erva-mate. Considerando a dose de produtividade máxima de COM (Figura 2d), nos intervalos de 12, 18 e 24 meses, a respectiva EUN foi de 781, 921 e 878 kg kg⁻¹ de P (Figura 3a). Nesta mesma condição (dose de produtividade máxima de COM) nos intervalos de 12, 18 e 24 meses, a TR.pl foi de 1,9, 3,2 e 5,6 % do P aplicado, respectivamente (Figura 3f). A redução da EUN e da TR.pl ocorreu, tanto para menores intervalos de colheita, como maiores doses do fertilizante (Figura 3a). A redução da EUN com aumento da disponibilidade de P é reflexo que, em limitação nutricional, pequenas doses de fertilizantes as plantas aumentam a absorção de nutrientes e a produção de forma linear (van Keulen, 1982). Contudo, alta disponibilidade de nutrientes, as plantas os absorvem além de sua demanda, reduzindo a EUN (Epstein e Bloom, 2004) e também a TR.pl (Teixeira et al., 2002). Plantas em fase adulta, quando comparadas as de fase inicial de crescimento, apresentam maior TR.pl em consequência do sistema radicular já estabelecido (Prezotti, 2001; Rosa, 2002), cuja capacidade de exploração do solo é maior. A maior EUN (Figura 3a) e maior TR.pl (Figura 3f) verificadas nos maiores intervalos de tempo entre colheitas, indica que as plantas de erva-mate colhidas com intervalo de 12 meses teriam sistema radicular menos volumoso, o que restringe a absorção de nutrientes.

A tendência de semelhança na relação de MV/MS de FO (Figura 3b) e COM (Figura 3c), com maior valor para o intervalo de 18 meses quando não adubado, fato não manifestado nos demais intervalos, possivelmente esteja relacionada à época do ano em que as colheitas foram efetuadas. No intervalo de 18 meses a colheita foi efetuada em agosto (inverno) e em janeiro nos demais intervalos. Na erva-mate ocorrem duas fases de crescimento no ano, primaveril e outonal, sendo o início de cada fase, respectivamente em setembro e janeiro (Rakocevic e Martim, 2011). A colheita do

intervalo de 18 meses efetuada no inverno, época em que as plantas de erva-mate se encontram fisiologicamente em menor atividade (Reissmann et al., 1983; Rakocevic e Martim, 2011), quando comparadas às dos intervalos de 12 e 24 meses, cujas colheitas ocorreram no verão. Neste caso, com atividade fisiológica maior no verão esperava-se que plantas colhidas no inverno apresentassem menor MV/MS que as colhidas no verão. O efeito negativo das doses de P na MV/MS na colheita com intervalo de 18 meses, possivelmente possa estar relacionado a um desequilíbrio nutricional. A aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N e de K₂O, na ausência de P (dose zero) possa ter estimulado a circulação de seiva bruta na copa, mas a falta de P pode ter limitado a transformação desta em seiva elaborada, conseqüentemente diminuindo a produção de massa vegetal. Assim, quanto mais próximo da dose zero de P, maior acúmulo de seiva bruta, resultando maior MV/MS.

O aumento do valor de FO/GF com a idade da copa (Figura 3e) possivelmente esteja relacionado a uma maior proporção de folhas maduras. Reissmann et al. (1985) ao avaliarem, a partir do décimo segundo mês da colheita, o peso de 100 folhas coletadas mensalmente durante um ano, constataram aumento de 50 % da massa da folha. Assim, colheitas com intervalos de tempo maiores, tendem a aumentar a massa da folha, repercutindo no aumento da relação FO/GF na composição da COM.

Se a medida que aumenta o intervalo de tempo entre colheitas, também aumenta a EUN (Figura 2a) e a relação FO/GF, intervalo de colheita mais longo é interessante para o produtor e indústria, porém a redução da relação COM/GG para colheitas com maior intervalo pode não ser tão interessante ao produtor. Na dose de máxima produtividade de COM, a relação COM/GG de 5,3, 3,1 e 2,3, respectivamente, nos intervalos de 12, 18 e 24 meses (Figura 3d) demonstra que a medida que a planta aumenta a massa de folha e galho fino (COM), maior será o gasto em energia para produção de GG para sustentar o peso desses componentes da copa. Contudo, não é raro na cultura da erva-mate se verificarem relações de COM/GG muito mais estreitas, como valores de 1,0 e 1,2 observados por Santin et al. (2011) em plantios com cinco anos estabelecidos com mudas propagadas via sexuada e assexuada em colheitas com intervalo de 24 meses. No entanto, parece que o aumento da produtividade de COM é sempre dependente de um maior aumento da produtividade de GG (Quadro 2), que ocorre tanto entre colheitas com diferentes intervalos de tempo, quanto dentro do mesmo intervalo de colheita em função do aumento ocasionado pela adubação. Nota-se que o percentual de aumento do GG entre intervalos, 12 para 18 e 18 para 24 meses é muito maior do que o aumento da

COM. Quando a erva-mate não é adubada com P, o aumento de 1 unidade da COM, do intervalo de 12 para 18 meses, ocorreu quando houve mais de 8,2 unidades de aumento do GG, e, no intervalo de 18 para 24 meses esse aumento de GG foi de apenas 1,8 unidades. Quando esta comparação é feita dentro de cada intervalo de colheita em função da dose de P, os intervalos de 12 e 24 meses proporcionam maior aumento da produção de GG por aumento de unidade de COM.

Quadro 2. Aumento da produtividade de erva-mate comercial (COM) e galho grosso (GG) verde

Intervalo de colheita meses	Aumento (%) entre intervalos de colheita na dose 0 de P ₂ O ₅		Relação entre aumentos
	GG	COM	GG/COM
12 para 18	105	13	8,23
18 para 24	131	75	1,75
	Aumento (%) da dose 0 para a dose de MET ¹ de P ₂ O ₅		Relação entre aumentos
12	114	65	1,75
18	136	89	1,53
24	143	90	1,59

¹Dose de máxima eficiência técnica para produtividade de COM nos intervalos de 12, 18 e 24 meses, respectivamente, de 219, 282 e 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 2d).

O teor de P foliar, considerando a dose de máxima produtividade de COM de cada intervalo de colheita, variou de 1,3 a 1,5 g kg⁻¹ (Figura 4a). Os relatos de baixos teores foliares de P na erva-mate acompanham essa cultura desde os primeiros trabalhos realizados com caracterização nutricional. Teores foliares de P de 1,1 g kg⁻¹ (Reissmann et al., 1983), 1,4 g kg⁻¹ (Reissmann et al., 1985), 0,8 g kg⁻¹ (Brondani et al., 2008) e 1,4 g kg⁻¹ (Santin, 2008) com seus respectivos relatos de teores relativamente baixos, talvez sejam valores adequados, característica da espécie que naturalmente ocorre em solos muito pobres deste nutriente (Carvalho, 2003). Em levantamentos realizados em diferentes locais, como Reissmann et al. (1999) que em 16 cultivos no estado do Paraná o teor foliar de P variou entre 0,5 a 3,2 g kg⁻¹. Lourenço (1997) em 20 cultivos das principais regiões produtoras do Sul do Brasil observou teor foliar de P entre 0,8 a 2,4 g kg⁻¹. Esses resultados mostram que na erva-mate os teores de P foliar, normalmente ditos baixos, quando se situam entre 1,3 a 1,5 g kg⁻¹, podem ser tidos como adequados para a espécie.

O teor máximo de P no GF, na dose de máxima produtividade de COM, de 1,4, 1,1 e 1,7 g kg⁻¹, respectivamente, nos intervalos de 12, 18 e 24 meses (Figura 4b) se assemelha ao da FO. Com 0,8 g kg⁻¹ Reissmann et al. (1983) e Reissmann et al. (1985) também já haviam relatado semelhança dos teores de P no galho e folha. Nessa condição, onde a erva-mate sempre foi caracterizada por apresentar baixos teores de P

foliar, este elemento presente no GF de forma semelhante ao da FO pode ser uma importante fonte de reserva à planta. Como o P na planta é considerado móvel (Epstein e Bloom, 2004) em condição limitante do elemento no solo, a translocação do P do GF para a FO pode ser importante mecanismo em suprir, em parte, a demanda do nutriente à planta. Esta hipótese se sustenta pela superioridade do teor de P do GF, quando comparado ao do GG que não ultrapassou a $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 4c), sendo ambos os componentes oriundos do mesmo órgão da planta.

O conteúdo de P na COM, quando comparado a de outros macronutrientes torna-se quase insignificante em termos quantitativos. Em cultivo com produtividade de $32,6 \text{ t ha}^{-1}$ Lourenço (1997) quantificou a exportação pela COM de N, P e K, respectivamente de 168, 16 e 140 kg ha^{-1} . A baixa exportação de P, reflexo dos baixos teores presentes nos componentes que formam a COM, não deve ser desprezada no que tange a reposição do nutriente no cultivo. Há de ser lembrado de que na aplicação de fontes solúveis de P incorporado a solos oxídicos é comum que mais de 90 % deste pode ser adsorvido pelas argilas, permanecendo poucas frações disponíveis às plantas (Gonçalves et al., 1985). Neste trabalho, mesmo sem incorporar, doses de 320 kg ha^{-1} de P_2O_5 proporcionaram disponibilidade máxima de P de $12,6 \text{ mg dm}^{-3}$ na camada superficial de 0-10 cm de solo. Mesmo com aplicação superficial concentrado na faixa de projeção da copa, provavelmente grande parte do P aplicado não ficou disponível para a planta. Neste contexto, na recomendação de adubação para a cultura da erva-mate, baseada na reposição do nutriente exportado pela colheita, a elevação dos níveis de P no solo somente se dará quando a dose contemplar um adicional além do conteúdo do elemento exportado. A relação entre a dose de P adicionado para atingir a máxima produtividade de COM e quantidade exportada do nutriente nesta mesma dose e componente variou de 21:1 para o intervalo de 12 meses e de 14:1 no intervalo de 24 meses. É importante lembrar que neste estudo o solo muito argiloso e com alta acidez (Quadro 1) apresentava características propensas a adsorção de P (Novais e Smyth, 1999; Souza et al., 2006; Novais e Mello, 2007; Rheinheimer et al., 2008) e que estas relações não devem ser extrapoladas para qualquer solo, pois devem mudar conforme as características do solo e do cultivo.

Normalmente colheitas com intervalos de 12 meses a quantidade de massa produzida de GG é insignificante para justificar sua retirada do ambiente de cultivo. Contudo, aumento da produtividade proporcionalmente, muito maior de GG do que de COM, permite inferir que em colheitas a partir de intervalos de 18 meses quando o GG

é retirado da área, o P exportado neste componente deve ser computado na dose de reposição. Neste caso, deve ser somado na reposição, além do P exportado pela colheita da COM, 14 e 19 %, respectivamente para colheitas com 18 e 24 meses para reposição do nutriente contido no GG.

CONCLUSÕES

O aumento da disponibilidade de fósforo é restrito as camadas superficiais do solo, que mesmo com doses anuais de 320 kg ha^{-1} de P_2O_5 o elemento não ultrapassa aos 20 cm superficiais do solo.

A melhoria da produtividade de cultivos de erva-mate em fase de produção é dependente do aumento da disponibilidade de fósforo no solo. Cultivos em solo muito argiloso com colheitas com intervalos de 12 meses expressam o potencial produtivo quando na profundidade de 0-10 cm o teor de P se situa próximo de $7,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e, para intervalos de 18 e 24 meses próximo a $11,0 \text{ mg dm}^{-3}$.

Na erva-mate, quando cultivada em solos com disponibilidade de fósforo muito baixa, colheitas com 12 e 18 meses de intervalo devem ser evitadas, pois são períodos insuficientes para que a planta se recupere do impacto da remoção da copa causado pela colheita. Em cultivos bem nutridos com fósforo devem-se priorizar colheitas com intervalos de tempo de 18 e 24 meses.

Para colheitas com intervalo de 18 meses a adubação fosfatada reduz a relação entre massas, verde e seca, indicativo de produto com maior rendimento na indústria. Cultivos colhidos com intervalos de 12 meses produzem erva-mate comercial com maior proporção de galho fino comparado aos colhidos a cada 24 meses.

Considerando a eficiência do uso do fertilizante fosfatado e a proporção entre produtividade de galho grosso e erva-mate comercial, o intervalo de tempo indicado para a colheita da cultura da erva-mate nutrida com fósforo deve se situar entre 18 e 24 meses.

Quando o galho grosso que sobra da colheita é retirado da área, na adubação de reposição deve ser previsto um adicional de 14 e 19 %, respectivo para colheitas com intervalos de 18 e 24 meses.

Para cultivos de erva-mate em fase de produção, teor de fósforo foliar entre 1,2 a $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ é indicativo de plantas bem nutridas do nutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. M. **Diagnóstico da cadeia produtiva da *Ilex paraguariensis* St. Hill, erva-mate**. São Mateus do Sul: Fundo Brasileiro para a Biodiversidade/FUNBIO, 1999.

BRAGA, J. M.; DE FILIPPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e plantas. **Ceres**, 21:73-85, 1974.

BRONDANI, G. E.; UKAN, D.; BORTOLINI, M, F.; CAMBRONERO, Y, C.; ROSSETTO, A.; REISSMANN, C. B. Distribuição de NPK em um povoamento de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Revista Floresta**, 38:267-275, 2008.

CARVALHO, P. H. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R. M. de (Org.). **A floresta com araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 233 p.

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

DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 1999. (**Boletim Técnico, 100**).

DE FILIPPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. Análise química do solo. Metodologia. 2. ed. Viçosa, UFV: Imprensa Universitária. 1997. 26p. (**Boletim de Extensão 29**).

DEITOS, N. J. **Considerações históricas da erva-mate no espaço meridional**. In: ROCHA Jr., W.; MILOCA, L. M. Sistema agroindustrial ervateiro: perspectivas debates. Cascavel: Coluna do Saber, 2007. p. 13-26.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 403p.

GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES. **Anuário Brasileiro da Erva-mate 1999**. Santa Cruz do Sul-RS. Ed. Pallotti, 1999. 64p.

GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de serrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 9:107-111, 1985.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina. IAPAR, 1994. 49p.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2011**. IBGE, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2012.

LOURENÇO, R. S. Adubação da erva-mate. In: I CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE II REUNIÃO TÉCNICA DO CONESUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE. Curitiba, 1997, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p. 299-315.

MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:563-568, 2007.

MILANO, M.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000. 206p.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. **Relação solo-planta**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência Solo, 2007. p.276-374.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. **Fósforo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. Fertilidade solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência Solo, 2007. p.471-550.

PANDOLFO, M. C.; FLOSS, P. A.; Da CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho alumino férrico. **Ciência Florestal**, 13:37-45, 2003.

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG, UFV, 2001. p.607-615.

RAKOCEVIC, M.; MARTIM, S. F. Time series in analysis of yerba-mate biennial growth modified by environment. **International Journal of Biometeorology**, 55:161-171, 2011.

RADOMSKI, M. I.; SUGAMOSTO, M. L.; GIAROLA, N. F. B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. **Revista do Instituto Florestal**, 4:453-456, 1992. (Edição Especial).

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O.; HILDEBRAND, E. E. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). Curitiba, 1985, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985. p.128-139.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. Under different management conditions in seven localities of Paraná State. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 42:187-194, 1999.

REISSMANN, C. B.; ROCHA, H. O.; KOEHLER, C. W.; CALDAS, R. L. S.; HILDEBRAND, E. E. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre Cambissolo na região de Mandirituba – PR. **Revista Floresta**, 14:49-54, 1983.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:41-49, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 34:2339-2354, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:589-597, 2000a.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:345-354, 2000b.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, 38:576-586, 2008.

ROSA, G. N. G. P. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do coqueiro**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BASTOS, M. C.; KASEKER, J. F.; REISSMANN, C. B.; BRONDANI, G. E.; BARROS, N. F. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação NPK. **Ciência Florestal**, 2013. (No prelo).

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; ORRUTÉA, A. G.; ROVEDA, L. F. Nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento de mudas de erva-mate. **Scientia Agraria**, 9:59-66, 2008.

SANTIN, D. **Produtividade, teor de minerais, cafeína e teobromina em erva-mate adensada e adubada quimicamente**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SANTIN, D.; WENDLING, I.; MORANDI, D.; DOMINGOS, D. M.; BENEDETTI, E. L. Produtividade de erva-mate com mudas produzidas por miniestacas juvenis e por sementes. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5. Posadas, 2011, **Anais...** Posadas: INYM/ INTA/INaM, 2011. p.85-90.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:705-714, 2008.

SATTERTHWAITE, F. E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics Bulletin**, 2:110-114, 1946.

SCWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. **Iron oxides**. In: BIGHAM, J. M.; DIXON, J. B.; MILFORD, M. H.; ROTH, S. B.; WEED, S. B., eds. Minerals in soil environmental. Madison: Soil Science Society of America, 1989.p. 379-478.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:975-983, 2006.

TEIXEIRA, L. A. J.; SPIRONELLO, A.; FURLANI, P. R.; SIGRIST, J. M. M. Parcelamento da adubação NPK em abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 24:219-224, 2002.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:271-281, 2012.

van KEULEN, H. Graphical analysis of annual crop response to fertilizer application. **Agricultural Systems**, 9:113-126, 1982.

VILAR, C.C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I. G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1059-1068, 2010.

APÊNDICES

Quadro a1. Análise da variância para o teor de fósforo do solo

FV	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	4	0,551	0,138	2,729	0,106
Int.Colh.	2	12,459	6,230	123,358	0,000
Int.Colh. x Blo. (Resíduo-A)	8	0,404	0,051		
Dose	5	476,005	95,201	1789,491	0,000
Dose x Int. Colh.	10	5,118	0,512	9,620	0,000
Dose x Int.Colh. x Blo. (Resíduo-B)	60	2,128	0,053		
Prof.	2	560,326	280,163	2296,419	0,000
Prof. x Blo. (Resíduo-C)	8	0,976	0,122		
Prof. x Int.Colh.	4	6,719	1,680	33,527	0,000
Prof. x Dose	10	762,221	76,222	1521,399	0,000
Prof. x Int.Colh. x Dose	20	8,064	0,403	8,048	0,000
Resíduo (D)	136	7,811	0,050		
Total	269	1842,782			
CV A % (15,5)					
CV B % (15,9)					
CV C % (24,1)					
CV D % (15,4)					

Quadro a2. Análise da variância para produtividade de erva-mate comercial

FV	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	4	5,400	1,350	1,776	0,227
Int.Colh	2	1542,250	771,120	1014,632	0,000
Int.Colh. x Blo. (Resíduo-A)	8	6,070	0,760		
Dose	5	397,010	79,400	95,663	0,000
Dose x Int.Colh.	10	397,010	79,400	95,663	0,000
Resíduo- B	60	143,170	14,320	17,253	0,000
Total	89	49,250	0,830		
CV A % (7,4)					
CV B % (7,7)					

CAPÍTULO 4
PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DA ERVA-MATE INFLUENCIADAS PELA
ADUBAÇÃO POTÁSSICA E INTERVALOS DE COLHEITA

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), espécie perene, de porte arbóreo e grande longevidade (Carvalho, 2003), ocorre naturalmente nas regiões subtropicais da América do Sul (Oliveira e Rota, 1985) e, no Brasil, predomina na região Sul. Nessa região, a erva-mate ocorre naturalmente em solos ácidos, com baixo teor de cátions trocáveis (Carvalho, 2003). Ela é plantada predominantemente em pequenas e médias propriedades rurais e, até pouco tempo, era responsável pela renda de centenas de milhares de pessoas (Gazeta, 1999). Mas, a redução da produtividade média brasileira de 17,3 t ha⁻¹ em 1990 para 6,3 t ha⁻¹ em 2010 (IBGE, 2012) demonstra que a cultura está em pleno declínio.

Pesquisas têm demonstrado que a erva-mate pode ser classificada como alimento saudável, com propriedades funcionais ao organismo humano (Gugliucci 1996; Mejía et al., 2010; Berté et al., 2011). Este fato, aliado ao crescente aumento da população mundial, estimularia o aumento da demanda por matéria prima de erva-mate. Contudo, poucos avanços têm sido observados nas pesquisas envolvendo o sistema produtivo dessa planta, o que poderá comprometer a viabilidade econômica da cultura da erva-mate brasileira em médio prazo.

A redução de mais de 60 % da produtividade nas duas últimas décadas é reflexo do sistema extrativista, que ainda predomina e do baixo nível tecnológico adotado. A erva-mate ocorre naturalmente à sombra, no estrato inferior das matas (Castella e Britez, 2004), mas a presença de estômatos na região abaxial das folhas (Rakocevic et al., 2011) permite seu cultivo tanto em condições de sombra quanto de sol.

Quando ervais nativos eram explorados, o intervalo entre colheitas variava de 36 a 48 meses. Porém, com redução da área desses ervais e a introdução de plantios, o intervalo entre colheitas foi sendo paulatinamente reduzido. Atualmente a colheita é realizada com podas anuais, ou com intervalo de 18 meses, sendo uma no inverno e outra no verão (Da Croce, 1997), mas, a maioria dos produtores faz a colheita de inverno a cada 24 meses.

Na cultura da erva-mate, cujo produto da colheita é constituído predominantemente por folhas, galhos finos, botões florais e sementes, a quantidade de nutrientes exportada é elevada (Reissmann et al., 1985). Este fato, associado à intensidade de colheita das últimas décadas, e considerando que a reposição dos nutrientes exportados pelas colheitas ainda é prática rara entre os produtores, faz com que o atual sistema produtivo da erva-mate seja insustentável.

Dentre os nutrientes, o K é o segundo mais exportado pela colheita, justificando a resposta à adubação potássica (Lourenço et al., 1999; Pandolfo et al., 2003). O K que chega às raízes é transportado no solo predominantemente pelos mecanismos de difusão e fluxo de massa (Oliveira et al., 2004; Ernani et al.; 2007a). No solo, a movimentação em profundidade do K é intermediária à do N e à do P (Ernani et al., 2007b), sendo determinada pela quantidade de água que percola no perfil e pela concentração do nutriente na solução do solo (Ernani et al., 2007b; Neves et. al., 2009). As perdas de K podem ser evitadas empregando-se doses de fertilizantes compatíveis com a necessidade da cultura (Ernani et al., 2007a). Para Kaminski et al. (2010), os programas de adubação potássica devem prever o estabelecimento de um nível de suficiência, a partir do qual a dose recomendada deve acompanhar as necessidades das culturas, que coincidem com a quantidade exportada pela colheita, não sendo necessário o estabelecimento de amplas faixas de disponibilidade de K para a recomendação de adubação. Adotando-se essas medidas, não ocorreria movimentação de K no perfil do solo em profundidade.

Os raros resultados de adubação de ervais em produção não permitem estabelecer a necessidade nutricional e a elaboração de uma recomendação condizente para a cultura. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a resposta da erva-mate e a disponibilidade de K no solo em ervais manejados com diferentes intervalos de colheita e submetidos à adubação potássica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em janeiro de 2009 no município de São Mateus do Sul - PR, localizado no segundo Planalto Paranaense, entre a longitude de 50°22'58"O e latitude de 25°52'27"S. O clima da região é temperado (Cfb), tendo precipitação média anual entre 1600 a 1800 mm (IAPAR, 1994). Na região, a altitude varia de 800 a 1000 m, com predominância de Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro e Cambissolos (Castella e Britez, 2004). O solo do local, Latossolo Vermelho Escuro álico, apresenta baixos teores de bases e altos de Al^{3+} e carbono orgânico (CO) (Quadro1).

Após remoção de parte da mata, permaneceram na área indivíduos esparsos de erva-mate nativa, araucária, imbuia e canela. Em 2001, realizou-se o plantio da erva-mate no espaçamento de 2 x 2 m, utilizando-se mudas propagadas por sementes.

A primeira colheita de erva-mate (poda de formação) foi efetuada 24 meses após o plantio a, aproximadamente, 1 m de altura do solo, e as demais colheitas, até o momento

da instalação do experimento, foram efetuadas a cada 18 meses. Na área nunca foi realizada calagem e adubação mineral ou orgânica, sendo apenas cultivada aveia no inverno como adubação verde.

Quadro 1. Teor de argila e propriedades químicas do solo de 0 a 20 cm de profundidade no local do experimento, São Mateus do Sul-PR.

CO	pH	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7,0}	V	m	Argila	K
g kg ⁻¹	H ₂ O	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	%	-----	mg dm ⁻³
29,79	3,70	4,79	16,33	17,68	7,64	78,01	76	54,90
Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	S-SO ₄ ²⁻	Cu	Zn	Fe	Mn	B
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0,87	0,34	1,50	7,56	13,10	2,50	71,00	29,00	0,53

Extrator: Extrator: Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹): P, K, Fe, Mn, Cu e Zn; KCl (1 mol L⁻¹): Ca, Mg e Al; Calcinação e solução de HCl: B e Fosfato de cálcio: S

A limpeza do erval foi realizada com roçadas mecânicas nos meses de setembro, janeiro e abril de cada ano. No período de novembro a fevereiro, realizou-se o controle de broca-da-erva-mate (*Hedypathes betulinus* (Klug.)) e das lagartas (*Thelosia camina* (Schaus) e *Hylesia nigricans* (Berg)), respectivamente com os inseticidas biológicos Bovimax® e Dipel®.

Os tratamentos foram arranjados no fatorial 3 x 6 em esquema de parcela subdividida, com três intervalos de colheita na parcela e seis doses de K na subparcela. Cada unidade experimental foi composta por 10 plantas úteis, com duas linhas de bordadura. Os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos casualizados com cinco repetições.

Testaram-se colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses e seis doses de potássio. Utilizou-se o cloreto de potássio para suprir 0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ de K₂O. No momento da instalação do experimento, aplicou-se, superficialmente em área total, 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, conforme CQFSRS/SC (2004). Como adubação complementar de N e P aplicou-se 80 kg ha⁻¹ de N e de P₂O₅, respectivamente, na forma de uréia e superfosfato triplo.

As doses de K₂O e a adubação complementar foram parceladas, sendo aplicadas superficialmente na área da projeção da copa, sem incorporação, sempre no início dos meses de janeiro e setembro. Na colheita com intervalo de 12 meses as doses de K₂O e a adubação complementar foram parceladas em duas vezes. Para as colheitas com intervalo de 18 e 24 meses as doses de K₂O foram parceladas em três vezes e a adubação complementar em duas vezes (duas primeiras aplicações). Na colheita com intervalo de 24 meses, a última parcela da dose foi aplicada quatro meses antes da colheita.

Foi efetuada uma colheita para cada um dos intervalos de 12, 18 e 24 meses, realizada respectivamente, em jan/2010, ago/2010 e jan/2011. A colheita foi efetuada retirando-se aproximadamente 95 % da matéria verde, da qual foi separada a erva-mate comercial (folha+galho fino) do galho grosso e determinada a matéria de ambos. O corte para a colheita foi feito entre 10 a 15 cm acima da posição da última poda. Considerou-se como galho grosso os de diâmetro acima de 7 mm, aproximadamente.

Antes da colheita, coletaram-se brotos, na metade da copa, para análise química de K e para determinar a relação entre a matéria verde e seca das folhas e galhos finos. No momento da colheita retirou-se uma amostra representativa por parcela de galhos grossos, para essas mesmas determinações. A amostra de brotos, logo após a coleta, foi separada em folhas e galhos finos. Após quantificar a matéria verde de cada amostra, o material vegetal foi lavado, seco em temperatura a 65 °C até peso constante, pesada a matéria seca, passado em moinho tipo Wiley com peneira de 0,5 mm de abertura e, posteriormente, analisado quimicamente para K.

No momento da colheita, retirou-se uma amostra composta de solo em cada parcela proveniente de 15 amostras simples coletadas em três pontos na área da projeção da copa de cinco plantas, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. As amostras da camada de 0-10 cm foram coletadas com pá de corte, em uma faixa de 20 cm de largura por 3 cm de espessura. Em seguida, nos mesmos pontos foi coletado solo com trado holandês nas demais profundidades. Após secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm, as amostras foram analisadas para determinar o teor de K.

O K no solo foi extraído por Mehlich-1 de acordo com De Filippo e Ribeiro (1997) e determinado por fotometria de chama (AOAC, 1975). No material vegetal, o K, após digestão nitroperclórica, foi determinado por fotometria de chama (Tedesco et al., 1995).

Quantificou-se a produtividade de matéria verde dos componentes, folha (FO), galho fino (GF), galho grosso (GG) e erva-mate comercial (COM). Para a COM foi também calculada a produtividade: 1) influenciada pelos intervalos de colheita (COM.PIC= produtividade na dose zero em cada intervalo de colheita); e 2) influenciada pela dose (COM.PID= produtividade incrementada pela adubação (COM.PID= COM – COM.PIC)). A eficiência de utilização dos nutrientes (EUN), para K, foi calculada pela razão entre matéria seca dos componentes colhidos da planta (COM+GG) e o conteúdo do nutriente acumulado (kg kg^{-1} de K) (BARROS et al.,

1986). A Taxa de recuperação de K pela planta (TR.pl) em percentagem, do K aplicado com o fertilizante, foi calculada pela fórmula:

$$TR.pl = \left(\frac{\text{Conteúdo de K nas plantas adubadas} - \text{Conteúdo de K nas plantas não adubadas}}{\text{Dose de K aplicado}} \right) \times 100, \text{ em que}$$

o conteúdo de K dos componentes colhidos (COM+GG).

A relação entre peso de matéria verde e seca (MV/MS) foi calculada para FO (FO.MV/MS), GF (GF.MV/MS) e COM (COM.MV/MS).

Na análise estatística da característica do solo, os fatores - intervalo de colheita, dose e profundidade, compuseram, respectivamente, parcela, subparcela e sub-subparcela. Para as características da planta, os fatores - intervalo de colheita e dose, compuseram, respectivamente, parcela e subparcela. Os dados foram submetidos à Anova. As médias referentes ao efeito do intervalo de colheita foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e o efeito da dose avaliado por análise de regressão. Para o K no solo, no desdobramento das interações entre o fator da parcela e subparcela e ou sub-subparcela (profundidade), no sentido de avaliar o efeito da subparcela dentro da parcela e ou sub-subparcela, adotou-se como erro o quadrado médio do resíduo combinado e o respectivo número de graus de liberdade, conforme Satterthwaite (1946).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Potássio trocável no solo

O teor de K disponível aumentou linearmente no solo, em todas as profundidades, com a adubação e intervalos de colheita (Figura 1). Os maiores aumentos na disponibilidade de K para os três intervalos de colheita ocorreram na camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 1a). Esses aumentos foram mais pronunciados no intervalo de colheita de 12 meses e menos no intervalo de 24 meses, possivelmente, em razão da aplicação de doses iguais em diferentes períodos de tempo.

Na camada de 0-10 cm, o incremento de K disponível, na maior dose, foi de 84,4 72,3 e 36,5 mg dm⁻³ respectivamente, para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses (Figura 1a). Os menores incrementos do teor de K, na a maior dose por manejo de colheita, foram verificados na camada de 20-40 cm, sendo de 32,5, 18,4 e 9,2 mg dm⁻³, respectivamente, para os intervalos de colheita de 12, 18 e 24 meses (Figura 1c). Na camada intermediária, o incremento de K no solo foi de 42,3, 30,9 e 14,1 mg dm⁻³, respectivamente para as colheitas de 12, 18 e 24 meses.

O aumento do teor de K com a profundidade, mesmo na camada de 20-40 cm e nas menores doses (20 e 40 kg ha⁻¹ de K₂O), para as três épocas de colheita, pode ter sido favorecido principalmente pela alta acidez do solo (Quadro1) e pela elevada precipitação pluviométrica anual da região. Ainda que a CTC do solo possa ser considerada elevada (CQFSRS/SC, 2004), somente o Al³⁺ ocupa mais de 78 % dos sítios de troca (Quadro1). Nesse caso, a elevação do pH poderia promover aumento das cargas negativas do solo (Albuquerque et al., 2000), favorecendo a adsorção de K.

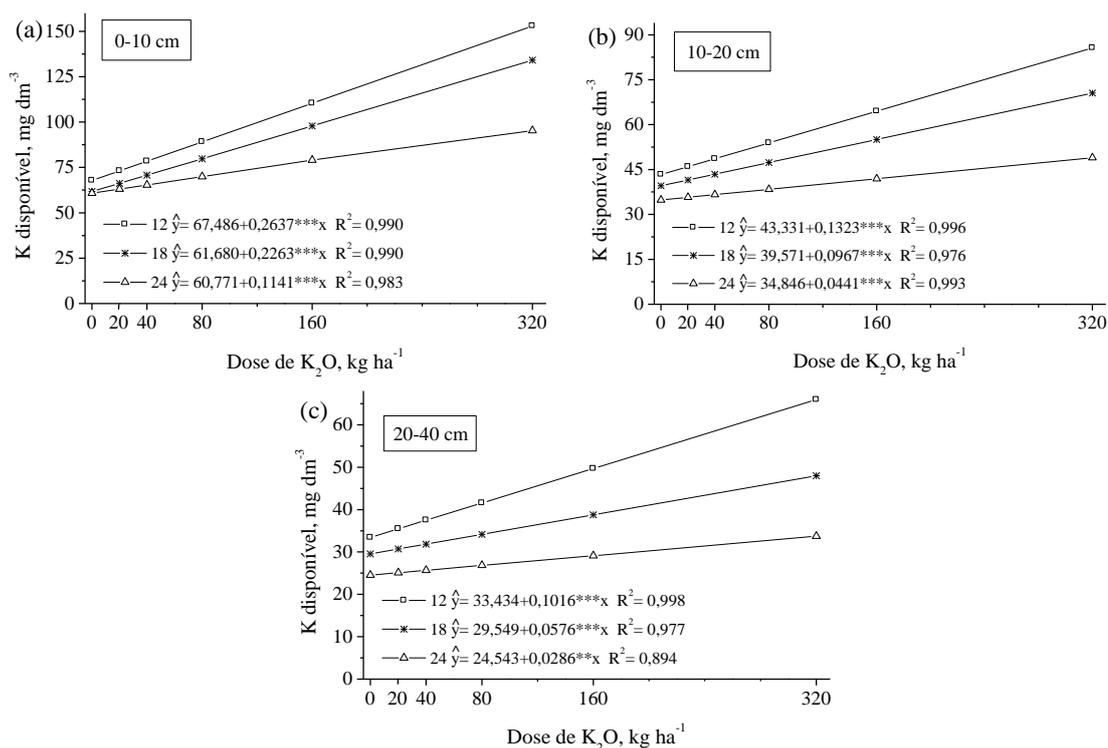


Figura 1. Disponibilidade de K no solo por Mehlich-1, nas camadas de 0-10 cm (a), 10-20 cm (b) e 20-40 cm (c) para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses em plantio de erva-mate submetido à adubação potássica. ** e ***, respectivamente, significativo a 1 e 0,1 % pelo teste F.

A movimentação de K no solo depende da dose aplicada (Rosolem et al., 2006; Neves et al., 2009) e neste estudo o seu aumento foi linear com as doses, mesmo na maior profundidade (Figura 1). Dessa forma, apesar do solo ser muito argiloso e com alta CTC (Quadro1) ocorreu movimentação de K para as camadas mais profundas de solo.

Para isso, a neutralização de parte do Al e H trocáveis pela calagem, poderia elevar a CTC do solo e reduzir a lixiviação do K no perfil do solo. O Al³⁺, com elevado teor em solos de alta acidez, tem preferência na adsorção às cargas negativas das argilas

do solo em detrimento a outros cátions de menor valência, circunstância que favorece a movimentação de K no perfil do solo (Bissani et al., 2004).

Outra prática para reduzir a movimentação do K seria aumentar o parcelamento da fertilização. O parcelamento da dose em duas vezes no intervalo de colheita de 12 meses incrementou o teor de K em 97 % na camada de 20-40 cm, enquanto que as mesmas doses parceladas em três porções, no intervalo de 24 meses, incrementaram em 37 %.

Produtividade e status nutricional de K da erva-mate

A erva-mate respondeu positivamente à adubação potássica, com aumento na produtividade de todos os componentes da planta para os três intervalos de colheita, com exceção do galho grosso para colheita com intervalo de 12 meses (Figura 2).

A maior produtividade de folhas (FO), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e erva-mate comercial (COM) ocorreu quando o intervalo de colheita foi de 24 meses e a menor no intervalo de 12 meses.

A resposta da erva-mate à adubação potássica foi semelhante, tanto para os componentes dentro do mesmo intervalo de colheita, como entre os diferentes intervalos. Porém, a magnitude de resposta, tanto no aumento da produtividade como na dose de maximização da produtividade, se diferenciou, principalmente, entre intervalos de colheita.

Na colheita com intervalo de 12 meses, a máxima produtividade de FO, GF e COM, respectivamente, de 8,8, 3,5 e 12,3 t ha⁻¹, ocorreu aproximadamente na dose de 200 kg ha⁻¹ de K₂O. A maximização da produtividade de FO, GF, GG e COM, no intervalo de 18 meses, foi respectivamente de 14,2, 4,2, 6,8 e 18,5 t ha⁻¹ ao se utilizarem doses próximas a 280 kg ha⁻¹ de K₂O. Para o intervalo de colheita de 24 meses a produtividade máxima de 23,0, 5,7, 15,3 e 28,5 t ha⁻¹, respectivamente, de FO, GF, GG e COM ocorreu nas doses de 317, 250, 320 e 298 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2).

A produtividade de erva-mate comercial para os três intervalos de colheita foi superior à produtividade média nacional de 2010 de 6,3 t ha⁻¹ (IBGE, 2012). Na Argentina, a produtividade média anual nas áreas dos produtores rurais varia de 3,0 t ha⁻¹, em plantios de baixa tecnologia, até superior a 7,0 t ha⁻¹ nos ervais com nível tecnológico mais elevado, mas, a produtividade média anual das áreas das indústrias é superior a 12,0 t ha⁻¹ (Montechiesi, 2008).

De forma geral, à medida que o intervalo entre colheitas aumentou maior foi a dose de K_2O necessária para maximizar a produtividade de cada componente. O GF no intervalo de colheita de 12 meses necessitou a menor dose de K_2O (Figura 2b) e o GG no manejo de 24 meses a maior dose (Figura 2c). Aumento linear da produtividade com doses anuais de 120 kg ha^{-1} de K_2O foi obtido em ervais com seis anos de idade (Lourenço et al., 1999). Em plantio com nove anos, quando o teor de K no solo se situava abaixo de 120 mg dm^{-3} , a aplicação anual de 143 kg ha^{-1} de K_2O resultou em produção de matéria verde próxima da resposta máxima (Pandolfo et al., 2003). A máxima produtividade de erva-mate comercial (Figura 2d) para o intervalo de 12, 18 e 24 meses ocorreu quando os teores de K no solo na camada de 0-10 cm eram, respectivamente, de 121, 125 e 95 kg ha^{-1} de K_2O . Nessa condição, a máxima produtividade ocorreu com alto teor de K no solo (CQFSRS/SC, 2004). Desta forma, mesmo que a erva-mate ocorra naturalmente em solos de baixa fertilidade (Carvalho, 2003), ela requer alto teor de K no solo para expressar sua máxima capacidade produtiva.

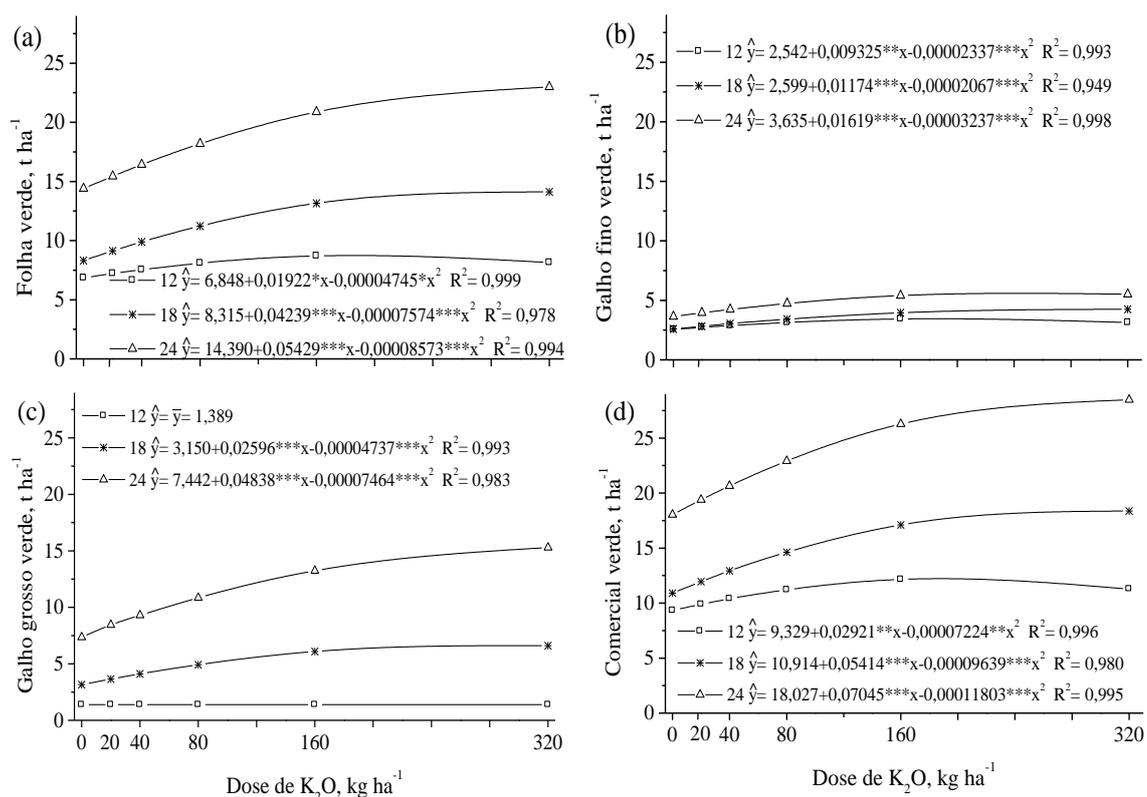


Figura 2. Produtividade de matéria verde de folhas (a), galhos finos (b), galhos grossos (c) e erva-mate comercial (d) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação potássica. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F.

A média da máxima produtividade de erva-mate comercial dos três intervalos foi de 19,8 t ha⁻¹, superando em 214 % a média nacional e 390 % superior a média paranaense (IBGE, 2012). Esse resultado demonstra o potencial produtivo e a capacidade de aumento na produtividade que poderia alavancar a produção nacional de erva-mate. Porém, mesmo obtendo boa produtividade, principalmente no intervalo de colheita de 24 meses, a produtividade anual de 35,7 t ha⁻¹ em plantios com cinco anos, constatada por Lourenço (1997), sugere que ainda há muito a avançar no que tange aos fatores relacionados à produção da cultura.

Quando se avalia a produtividade de COM isoladamente pelo efeito do intervalo de colheita (COM.PIC) (Figura 3a), pelo efeito da dose (COM.PID) (Figura 3b) e pela eficiência de utilização do nutriente (EUN) K (Figura 3c), fica mais clara a necessidade de se avaliar intervalos mais longos de colheita.

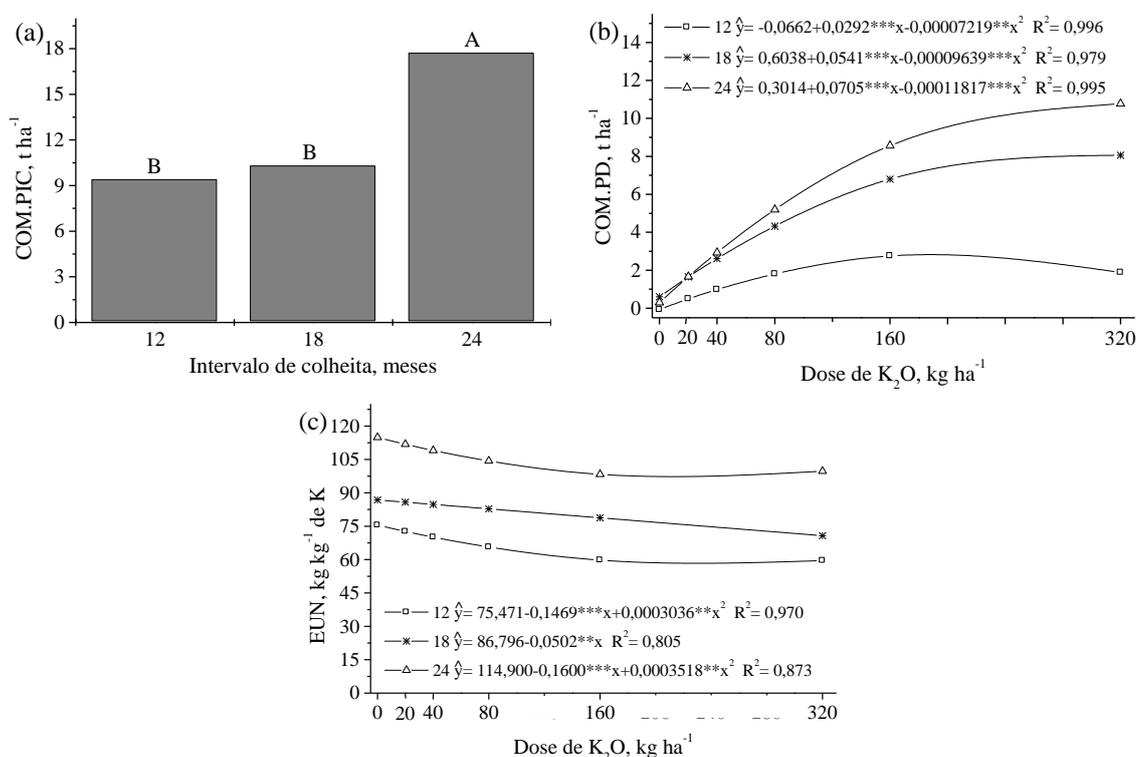


Figura 3. Produtividade de erva-mate comercial (COM) pelo efeito do intervalo de colheita (COM.PIC) (a) e pelo efeito da dose (COM.PID) (b); e eficiência da utilização do nutriente (EUN) (c) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação potássica. ** e ***, respectivamente, significativo a 1 e 0,1 % pelo teste F. Média dos três intervalos de colheita; e médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A maior COM.PIC (17,7 t ha⁻¹) ocorreu quando as colheitas foram realizadas com intervalo de 24 meses (Figura 3a), ao passo que nos intervalos de 12 e 18 meses a produtividade foi, respectivamente, de 9,4 e 10,3 t ha⁻¹. Na COM.PID, novamente no

intervalo de colheita de 24 meses ocorreu o maior aumento, com 10,8 t ha⁻¹ na dose de 299 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 3b). Nos intervalos de 12 e 18 meses a produtividade máxima de COM.PID, respectivamente, de 2,9 e 8,2 t ha⁻¹ ocorreu nas doses de 202 e 281 kg ha⁻¹ de K₂O.

A maior eficiência do uso do nutriente (EUN) na produção de COM ocorreu na menor dose de K, para os três intervalos de colheita (Figura 3d), reduzindo linearmente no intervalo de 18 meses com 71 kg kg⁻¹ de K na maior dose de K₂O. Nas colheitas com intervalos de 12 e 24 meses, a EUN mínima, respectivamente, de 58 e 97 kg kg⁻¹ de K ocorreu nas respectivas doses de 242 e 227 kg ha⁻¹ de K₂O.

Normalmente, em condição de baixa disponibilidade e emprego de baixas doses do nutriente, a produção das culturas aumenta linearmente e, nessa condição, a EUN é alta (van Keulen, 1982). Em alta disponibilidade de nutrientes, as plantas absorvem os nutrientes a taxas suficientes para manter as demandas de crescimento, reduzindo, conseqüentemente, a EUN (Epstein e Bloom, 2004). Em muitos casos, há plantas que em condição de disponibilidade elevada absorvem os nutrientes além da necessidade para seus processos bioquímicos, mas sem apresentarem efeito tóxico (van Keulen, 1982; Hawkesford et al., 2012). Isso talvez possa ter ocorrido na erva-mate, o que é coerente para colheitas com menores intervalos de tempo.

A grande diferença de COM.PIC entre o intervalo de colheita de 24 meses e os demais (Figura 3a) indica que a colheita quando realizada em intervalos mais curtos não permite que a planta recomponha o equilíbrio entre parte aérea e radicular. A poda provoca um desequilíbrio entre folhas e raízes, requerendo uma reação compensatória da planta (Milano e Dalcin, 2000). Neste caso, a baixa produtividade não estaria relacionada à falta de nutrientes, mas sim, à reduzida área foliar e, conseqüente, menor taxa fotossintética e crescimento das plantas (Epstein e Bloom, 2004). Essa hipótese é suportada pelas menores colheitas conseguidas no intervalo de 12 meses. Já nos intervalos de colheita de 18 e 24 meses, a resposta da produtividade às doses de K foi mais pronunciada (Figura 3b). Além disso, a baixa EUN no intervalo de colheita de 12 meses, quando comparada aos demais intervalos (Figura 3d), indica que para atingir a máxima produção em menores intervalos de tempo, as plantas precisam de maior conteúdo do nutriente. A semelhança de produtividade de COM na COM.PIC para os intervalos de 12 e 18 meses (Figura 3a) e a produtividade máxima de COM em COM.PID, respectivamente, de 2,9 e 8,2 t ha⁻¹ (Figura 3b) demonstram que quando a erva-mate não é adubada, intervalo de 18 meses entre uma colheita e outra é insuficiente

para que a planta se recupere do impacto da remoção da copa, e a adubação potássica tem um papel fundamental na reabilitação da planta.

A relação entre peso de matéria verde e seca (MV/MS) da FO (FO.MV/MS) e COM (COM.MV/MS) foi afetada pela dose e pelo intervalo de colheita. Já para GF (GF.MV/MS) essa relação só foi afetada pelo intervalo de colheita (Quadro2).

Para os intervalos de 12 e 24 meses, a FO.MV/MS e a COM.MV/MS apresentaram relação linear positiva com as doses de K. No intervalo de 18 meses, a FO.MV/MS e a COM.MV/MS apresentaram valores mínimos, respectivamente, de 2,63 e 2,68 nas doses de 240 e 251 kg ha⁻¹ de K₂O. Assim como nos demais componentes, para o GF no intervalo de 18 meses ocorreu a menor MV/MS.

Os registros da relação MV/MS na cultura de erva-mate para a FO variam de 2,41 (Campos, 1991) a 3,40 (Santin, 2008), no GF de 2,38 a 2,54 (Campos, 1991) e para a COM de 1,90 (Reissmann et al., 1985) a 2,59 (Campos, 1991). Os valores da relação MV/MS dos componentes para o intervalo 18 meses estão dentro do que normalmente se observa na cultura, mas, os dos intervalos de 12 e 24 meses estão acima do observado na erva-mate. Porém, não há informação sobre o efeito da adubação nessa relação. Neste trabalho, a relação MV/MS da COM, na máxima produtividade para os três períodos de colheita variou de 2,67 a 3,37.

Quadro 2. Equação de regressão e valores médios da relação entre massa de matéria verde e seca de plantios de erva-mate submetidos à adubação potássica e intervalos de colheita

Variável ¹	Manejo de colheita ² Meses	Equação de regressão ³	R ²
FO	12	$\hat{y} = 3,1547 + 0,0008662^{**}x$	0,679
	18	$\hat{y} = 3,1682 - 0,004471^{***}x + 0,000009303^{**}x^2$	0,910
	24	$\hat{y} = 2,8039 + 0,0008538^{**}x$	0,770
COM	12	$\hat{y} = 3,1968 + 0,0008632^{***}x$	0,662
	18	$\hat{y} = 2,9914 - 0,0025113^{***}x + 0,000004828x^2$	0,828
	24	$\hat{y} = 2,8905 + 0,0008214^{***}x$	0,810
Variável ¹	Manejo de colheita ²	Valor médio ⁵	
GF	12	3,40 ^A	
	18	2,65 ^B	
	24	3,36 ^A	

¹Folha (FO), galho fino (GF) e erva-mate comercial (COM); ² Intervalo entre colheitas; ³*, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F; ⁴média dos três manejos de colheita; e médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (p < 0,05) pelo teste de Tukey.

A menor relação MV/MS para todos os componentes no período de 18 meses pode ser decorrente das diferentes fases de crescimento da erva-mate durante o ano. Na erva-mate ocorrem duas fases de crescimento no ano, primaveril e outonal, sendo o início de cada fase, respectivamente, em setembro e janeiro (Rakocevic e Martim,

2011). Como a colheita no intervalo de 18 meses foi efetuada no inverno (agosto), as plantas estavam em menor atividade fisiológica, quando comparadas às dos intervalos de 12 e 24 meses, cujas colheitas ocorreram no verão (janeiro). Portanto, aparentemente, a relação MV/MS seria mais afetada pela época de colheita do que pela adubação ou disponibilidade de K. Como MV/MS influencia o rendimento do produto industrializado, para um maior rendimento na indústria, devem-se priorizar as colheitas de inverno.

O teor de K em todos os componentes da planta foi afetado pela dose e pelo intervalo de colheita de forma independente (Figura 4a, b, c, d). Já o conteúdo de K na erva-mate comercial (COM) (Figura 4e) e no galho grosso (Figura 4f) foi afetado pela interação dose e intervalo de colheita, exceto no conteúdo de K no galho grosso no intervalo de 12 meses. O teor de K na planta mostrou relação quadrática com a dose de K, atingindo o máximo de $17,2 \text{ g kg}^{-1}$ nas folhas, $13,0 \text{ g kg}^{-1}$ nos galhos finos e $10,8 \text{ g kg}^{-1}$ nos grossos, respectivamente nas doses de 293, 289 e 307 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 4a). Quanto aos intervalos de colheita, o menor teor de K nas folhas (Figura 4b) e nos galhos grossos (Figura 4d) foi observado com 24 meses, enquanto que nos galhos finos o menor teor ocorreu no intervalo de 12 meses (Figura 4c).

Considerando as doses onde ocorreu a maximização da produtividade de COM para cada intervalo de colheita, o conteúdo de K na COM foi de 58, 115 e 141 kg ha^{-1} de K, respectivamente, para os intervalos de colheita de 12, 18 e 24 meses (Figura 5a). Nesta mesma condição, o conteúdo de K no galho grosso para colheitas com 18 e 24 meses de intervalo foi, respectivamente, de 38 e 56 kg ha^{-1} de K (Figura 5b). Na taxa de recuperação do K pela planta (TR.pl) pelos componentes colhidos, do nutriente aplicado pela adubação, o intervalo de colheita de 12 meses também apresentou os menores valores (Figura 5c). Para os três intervalos de colheita a TR.pl diminuiu com adubação potássica. A TR.pl mínima, de 7,9, 27,5 e 29,2 %, respectivamente, nas doses de 289, 253 e 316 kg ha^{-1} de K_2O , do menor para maior intervalo de colheita.

A TR.pl pode ser afetada, dentre vários fatores, pela idade da planta e pela adubação (Santos, 2002), sendo maior com o desenvolvimento da planta e do sistema radicular (Prezotti, 2001; Rosa, 2002) e menor com aumento da adubação (Teixeira et al., 2002). Na erva-mate, quando colhida com intervalo de 12 meses, a TR.pl foi bem menor do que quando colhida em intervalos maiores de tempo (Figura 5c). A maior TR.pl, assim como maior EUN (Figura 3c) com o aumento do intervalo de colheita, mostra que as plantas com copa com maior idade, provavelmente tenham um sistema

radicular maior e mais eficiente, do que plantas com copa mais jovem. Isso, pois, à medida que a planta cresce, a área de exploração do sistema radicular se expande e a eficiência de recuperação de nutrientes no solo aumenta (Prezotti, 2001). Por outro lado, a redução da TR.pl (Figura 5a) com o aumento das doses, nos três intervalos de colheita é reflexo da redução da EUN com o aumento da disponibilidade do nutriente à planta (Epstein e Bloom, 2004), assim como ocorrido no presente trabalho (Figura 3c)

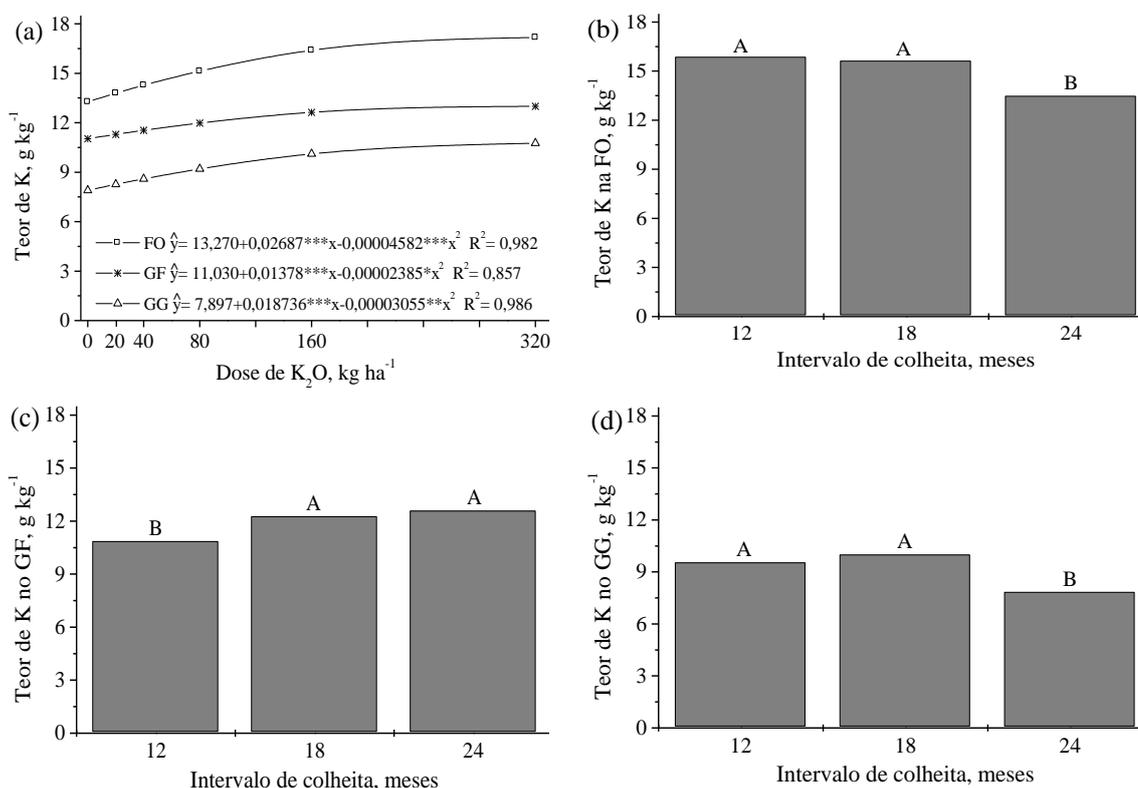


Figura 4. Teor de K nas folhas (FO) (a, b), galhos finos (GF) (a, c) e galhos grossos (GG) (a, d) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses submetidos à adubação potássica. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1, 0,1 % pelo teste F. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Maior teor de K na folha quando comparado ao teor no galho fino e galho grosso, geralmente é observado nas espécies vegetais arbóreas, já que é nesse órgão que ocorrem os processos metabólicos mais intensivamente (Epstein e Bloom, 2004). Com a idade, há tendência de diminuir a atividade fisiológica, principalmente em folhas mais velhas (Suzuki et al., 1987), mas a alocação de biomassa na parte aérea pode aumentar (Siddique et al., 1990). Além disso, a alta mobilidade de K nas plantas (Mengel e Kirkby, 1987; Marschner, 1995; Epstein e Bloom, 2004) favorece sua translocação de tecidos maduros para tecidos jovens. Isso poderia explicar o menor teor foliar de K e maior produtividade na colheita com intervalo de tempo maior (Figura 4b). Para a erva-

mate, além do intervalo de tempo entre colheitas e nível de sombra (Jacques et al., 2007) a época do ano também interfere no teor de nutrientes na planta (Reissmann et al., 1985). Neste estudo, mesmo que no intervalo de 18 meses a colheita tenha ocorrido em agosto, época em que as plantas se encontram em baixa atividade fisiológica, o teor foliar de K se manteve semelhante ao do intervalo de 12 meses com colheita em janeiro.

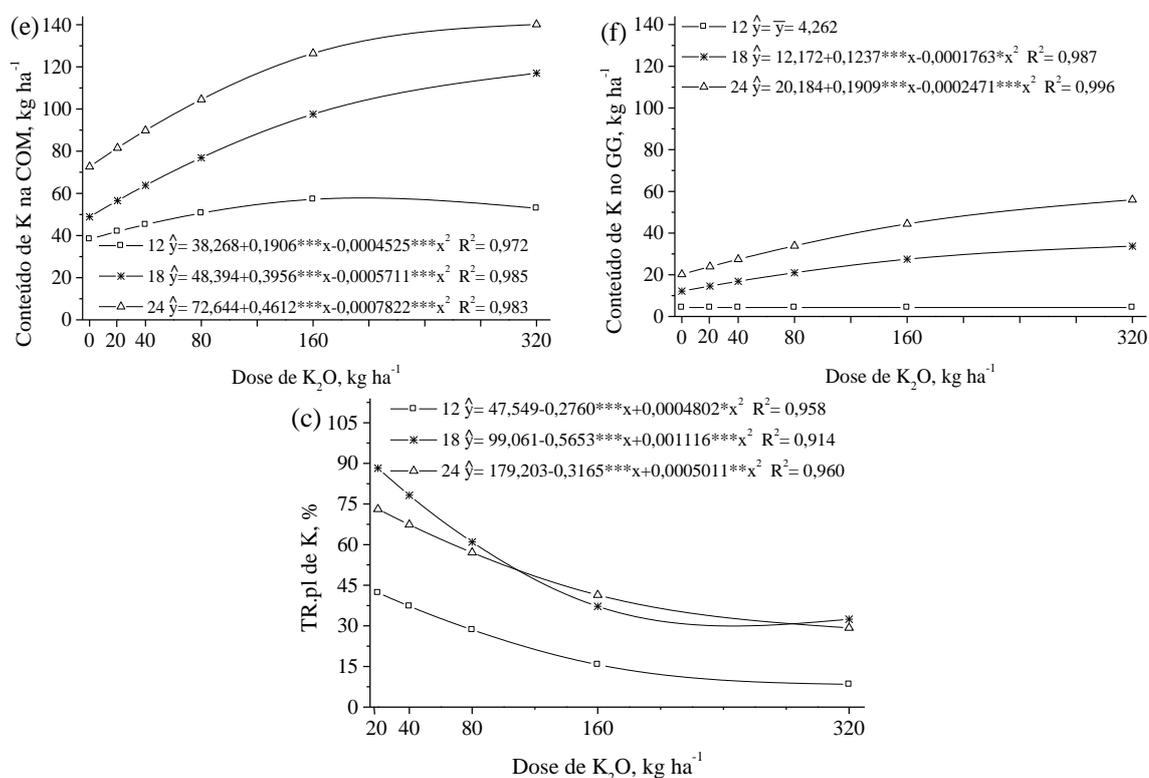


Figura 5. Conteúdo de K na erva-mate comercial (COM) (e) no GG (f); e taxa de recuperação de K pela planta (TR.pl) (c) em plantio de erva-mate com intervalos entre colheitas de 12, 18 e 24 meses, submetidos à adubação potássica. *, ** e ***, respectivamente, significativo a 5, 1, 0,1 % pelo teste F.

A idade da folha pode ser um dos principais fatores a influenciar o teor foliar de K. Jacques et al. (2007), em colheitas com intervalos de 12 e 24 meses, verificaram teor foliar de K, respectivamente, de 15,4 e 6,7 g kg⁻¹. Essa mesma tendência foi verificada neste estudo, com menor teor foliar de K para colheita com intervalo de 24 meses (Figura 4b).

A associação entre teor máximo de K na folha e doses próximas à de máxima produção de COM sinaliza para a necessidade da fertilização potássica em plantios de erva-mate (Figura 2). O teor foliar de K associado com a máxima produtividade de erva-mate comercial, nos três intervalos de colheita, foi de 16,8 a 17,2 g kg⁻¹. Na literatura, para a cultura da erva-mate é possível verificar teor foliar de K desde 5,4 g kg⁻¹ (Jacques et al., 2007) até 20,8 g kg⁻¹ (Radomski et al., 1992). Em experimentos com

fertilização potássica, após seis anos de sucessivas aplicações e colheitas, Pandolfo et al. (2003) obtiveram teor foliar médio de K 17,4 g kg⁻¹, teor semelhante ao verificado neste trabalho na dose de máxima produtividade de COM.

Para essa mesma espécie foi verificado teor de K no galho fino de 9,9 g kg⁻¹ (Reissmann et al., 1983) a 13,4 g kg⁻¹ (Reissmann et al., 1985) e, no galho grosso, desde 5,0 g kg⁻¹ (Campos, 1991) até 9,6 g kg⁻¹ (Berger, 2006). Neste trabalho, a máxima produtividade de erva-mate comercial ocorreu entre as doses de 202 a 298 kg ha⁻¹ de K₂O, para os três intervalos de colheita, sendo o teor de K nos galhos finos e galhos grossos, respectivamente, de 12,8 a 13,0 e 10,4 a 10,8 g kg⁻¹. Para os galhos grossos o teor de K está acima do que normalmente é verificado na erva-mate.

Reissmann et al. (1985) já alertavam sobre a expressiva saída de nutrientes da área pela colheita de erva-mate. Quando são retirados da área também os galhos grossos que sobram da colheita, na adubação de reposição, deve-se prever aumento de 30 e 40 % na dose de K, respectivamente, para colheitas com intervalo de 18 e 24 meses.

CONCLUSÕES

A demanda de K varia com a produtividade e solos pobres no nutriente devem receber adubação em doses que disponibilizem 120 mg dm⁻³ para intervalos de colheita de 18 e 24 meses e de 90 mg dm⁻³ para o intervalo de 12 meses.

Para colheitas com intervalos de 18 meses, a fertilização potássica é fundamental para a planta recuperar-se do impacto da remoção da copa causada pela colheita.

Galhos grossos exportam quantidades elevadas (30 a 40 %) de K, o que exige adubações de reposição mais pesadas, caso os mesmos forem retirados da área.

Teor de K foliar próximo a 17,0 g kg⁻¹ indica plantas de erva-mate bem nutridas deste nutriente.

Plantios de erva-mate manejados com intervalos entre colheitas de 18 e 24 meses são mais produtivos e mais eficientes na utilização do fertilizante potássico. Intervalo de 12 meses entre colheitas é insuficiente para a planta se recuperar do impacto da remoção da copa causado pela colheita.

A relação entre matérias, verde/seca, está mais relacionada à época da colheita do que a adubação potássica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:295-300, 2000.

AOAC-ASSOCIATIONS OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Associations of Official Analytical Chemists**. 12. ed. Washington, D.C. 1975. 1024p.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) no município de Nova Prata, RS**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BERTÉ, K.; RUCKER, N.; RIBANI, R. H. Yerba mate *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Phytothérapie**, 9:180-184. 2011.

BISSANI, C. A; MEURER, E. J.; BOHNEN, H. **Solos ácidos e solos afetados por sais**. In: MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 2. ed., Porto Alegre: Gênese, 2004. p.181-205.

CAMPOS, M. A. A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. 1991. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CARVALHO, P. H. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R. M. de (Org.). **A floresta com araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 233 p.

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

DA CROCE, D. M. Poda de erva-mate: novos métodos desenvolvidos pela EPAGRI. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA

DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p.351-357.

DE FILIPPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. Análise química do solo. Metodologia. Viçosa, UFV. Imprensa Universitária. 1997. 26p. (**Boletim de Extensão 29**).

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 403p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. **Potássio**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007a.p.551-594.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:393-402, 2007b.

GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES. **Anuário Brasileiro da Erva-mate 1999**. Santa Cruz do Sul-RS. Ed. Pallotti, 1999. 64p.

GUGLIUCCI, A. Antioxidant effects of *Ilex paraguariensis*: induction of decreased oxidability of human LDL in vivo. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, 2:338-344, 1996.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. **Functions of Macronutrients**. In: MARSCHNER, P. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. Oxford: Academic Press, 2012. p.135-189.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina. IAPAR, 1994. 49p.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2010**. IBGE, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2012.

JACQUES, R. A.; ARRUDA, E. J.; OLIVEIRA, L. C. S.; OLIVEIRA, A. P.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, J. V.; CARAMÃO, E. B. Influence of agronomic variables on the

macronutrient and micronutrient content and thermal behavior of mate tea leaves (*Ilex paraguariensis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 55:7510-7516, 2007.

KAMINSKI, J.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. Potassium availability in a hapludalf soil under long term fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:783-791, 2010.

LOURENÇO, R. S. Adubação da erva-mate. In: I CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE II REUNIÃO TÉCNICA DO CONESUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE. Curitiba, 1997, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p.299-315.

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; DALZOTO, D. N. Efeito de níveis de potássio sobre a produtividade de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no município de Ivaí, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 39:119-131, 1999.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MEJÍA, E. G.; SONG, Y. S.; HECK, C. I.; RAMÍREZ-MARES, M. V. Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): Phenolics, antioxidant capacity and in vitro inhibition of colon cancer cell proliferation. **Journal Functional Foods**, 2:23-34, 2010.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Bern, International Potash Institute, 1987, 687p.

MILANO, M.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000. 206p.

MONTECHIESI, R. **Yerba mate, câmbios em la producción, no em la actividad**. Posadas, 2008. 62p.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:25-32, 2009.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: **SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E**

PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). 1983, Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985, p.17-36.

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:439-445, 2004.

PANDOLFO, M. C.; FLOSS, P. A.; Da CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho alumino férrico. **Ciência Florestal**, 13:37-45, 2003.

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG, UFV, 2001. p.607-615.

RADOMSKI, M. I.; SUGAMOSTO, M. L.; GIAROLA, N. F. B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. **Revista do Instituto Florestal**, 4:453-456, 1992.

RAKOCEVIC, M.; BORSATO, A. V.; BONA, C.; MEDRADO, M. J. S. Distribuição de estômatos em folhas de diferentes idades de erva-mate cultivada em monocultura e sub-bosque. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5. Posadas, 2011, **Anais...** Posadas: INYM/INTA/INaM, 2011. p.45-50.

RAKOCEVIC, M.; MARTIM, S. F. Time series in analysis of yerba-mate biennial growth modified by environment. **International Journal of Biometeorology**, 55:161-171, 2011.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O.; HILDEBRAND, E. E. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Curitiba, 1985, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985. p.128-139.

REISSMANN, C. B.; ROCHA, H. O.; KOEHLER, C. W.; CALDAS, R. L. S.; HILDEBRAND, E. E. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre Cambissolo na região de Mandirituba – PR. **Revista Floresta**, 14:49-54, 1983.

ROSA, G. N. G. P. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do coqueiro**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

ROSOLEM, C. A.; RODRIGO, GARCIA, A.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:813-819, 2006.

SANTIN, D. **Produtividade, teor de minerais, cafeína e teobromina em erva-mate adensada e adubada quimicamente**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SANTOS, F.C. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja**. 2002. 64f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

SATTERTHWAITE, F.E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics Bulletin**, 2:110-114, 1946.

SIDDIQUE, K. H. M.; BELFORD, R. K.; TENNANTT, D. Toot: shoot ratios of old and modern, tall ant semi-dwarf wheats in a Mediterranean environment. **Plant and Soil**, 121:89-98, 1990.

SUZUKI, S.; NAKAMOTO, H.; KU, M. S. B.; EDWARDS, G. E. Influence of leaf age on photosynthesis, enzyme activity, and metabolite levels in wheat. **Plant Physiology**, 84:1244-1248, 1987.

TEDESCO, J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.;VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de solos, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (**Boletim Técnico**, 5).

TEIXEIRA, L. A. J.; SPIRONELLO, A.; FURLANI, P.R.; SIGRIST, J. M. M. Parcelamento da adubação NPK em abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 24:219-224, 2002.

van KEULEN, H. Graphical analysis of annual crop response to fertilizer application. **Agricultural Systems**, 9:113-126, 1982.

APÊNDICES

Quadro a1. Análise da variância para o teor de K disponível no solo

FV	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	4	172,60	43,20	0,58	0,688
Int.Colh.	2	16105,00	8052,50	107,51	0,000
Int.Colh. x Blo. (Resíduo-A)	8	599,50	74,90		
Dose	5	45942,30	9188,50	276,76	0,000
Dose x Int. Colh.	10	6063,60	606,40	18,27	0,000
Dose x Int.Colh. x Blo. (Resíduo-B)	60	1329,70	33,20		
Prof.	2	114259,40	57129,70	12695,49	0,000
Prof. x Blo. (Resíduo-C)	8	36,40	4,50		
Prof. x Int.Colh.	4	365,00	91,30	3,94	0,005
Prof. x Dose	10	12136,20	1213,60	52,31	0,000
Prof. x Int.Colh. x Dose	20	1025,90	51,30	2,21	0,004
Resíduo (D)	136	3611,70	23,20		
Total	269	201647,30			
CV A % (15,5)					
CV B % (10,3)					
CV C % (3,8)					
CV D % (8,6)					

Quadro a2. Análise da variância para produtividade de erva-mate comercial verde

FV	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	4	3,79	0,95	0,96	0,479
Int.Colh	2	1664,28	832,14	840,55	0,000
Int.Colh. x Blo. (Resíduo-A)	8	7,92	0,99		
Dose	5	325,40	65,08	73,12	0,000
Dose x Int.Colh.	10	99,14	9,91	11,13	0,000
Resíduo- B	60	53,31	0,89		
Total	89	2153,85			
CV A % (8,1)					
CV B % (7,7)					

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os experimentos de calagem e NPK do presente trabalho, constatou-se melhorias expressivas na produtividade de erva-mate de ervais em fase produtiva. Com calagem, o aumento médio da produtividade obtido foi de 24 %, e o aumento médio, dos experimentos de N, P e K dentro dos intervalos de 12, 18 e 24 meses, foi respectivamente, de 42, 75 e 64 %. A média de aumento dos três intervalos de colheita superior a 60 %, somada ao efeito da calagem, sugere que é possível melhorar a produtividade brasileira de erva-mate em torno de 80 %, somente suprindo nutricionalmente a planta com alguns macronutrientes.

Colheitas que removem em torno de 90 a 95 % da área foliar da copa, principalmente em colheitas com intervalos mais curtos (12 meses), dificultam a recuperação da planta mesmo quando bem suprida nutricionalmente. Manejos que visem menor retirada de área foliar poderão reduzir o impacto da colheita e acelerar a recomposição da copa da planta. Neste caso, especula-se, uma melhor resposta da planta a adubação e, conseqüente, maiores produtividades. Esta hipótese deve ser verificada em experimentos a campo com remoção de diferentes percentuais da copa na colheita.

O fato do K no solo, aplicado na adubação, ter atingido a camada de 20 a 40 cm de profundidade mesmo com doses de 20 e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, independente do intervalo de colheita, chama a atenção. Neste caso, manejo de adubações que privilegie mais parcelamentos, com doses menores, deve ser investigado. A elevada movimentação do K no perfil, num solo com CTC_{pH7,0} de 17,7 cmol_c dm⁻³ era pouco esperada, desde que esta não estivesse com mais de 90 % de sua capacidade ocupada somente por H+Al. Contudo, a boa resposta da erva-mate a calagem, permite que esta prática, mesmo feita superficialmente no solo sem incorporação, possa atenuar a movimentação de K na camada superficial do solo.

A grande diferença no teor de Ca e Al em folhas de erva-mate, em diferentes solos, sem dúvida é de grande interesse ao mercado consumidor que presa pela qualidade e segurança alimentar do produto. O estabelecimento de novos ervais, com mudas clonais de matrizes adaptadas a locais com solos naturalmente com alta disponibilidade de Ca²⁺ e baixo de Al³⁺, somando a prática de calagem, possivelmente gere matéria prima rica em Ca e pobre em Al. Isso poderia, no futuro, alavancar pólos produtores de matéria prima diferenciada.

A boa resposta da cultura a doses de calcário e de NPK deve vir acompanhada de outros trabalhos que contemplem a qualidade da matéria prima. Investigar se a curva de

reposta da produtividade se equivale a da qualidade da matéria prima, sem dúvida, suportará a confiabilidade ea segurança às futuras recomendações de adubação e calagem para a cultura.

A erva-mate, planta que pode permanecer produtiva por mais de 100 anos. Neste contexto, os resultados deste trabalho, fundamentais frente às escassas informações nutricionais inerentes a cultura, contemplam apenas um pequeno intervalo de tempo das inúmeras fases de crescimento que devem ocorrer ao logo do ciclo produtivo da planta. Quanto recomendar de nutrientes no plantio de mudas? A demanda nutricional de plantas com 5, 10, 20, 40 ou mais anos se mantêm? Isso só será elucidado com experimentos em longo prazo que contemplem a demanda da planta por nutrientes, desde o plantio, assim como suas diversas fases de crescimento.

Várias justificativas, de parte da própria indústria ervateira, têm sido usadas para incentivar os produtores a não utilizarem adubação nos ervais. A principal, de que a adubação comprometeria a qualidade da matéria prima, mesmo sem comprovação, tem sido largamente difundida. O aumento do teor de água na erva-mate comercial com a adubação, o que poderia dificultar o processo de sapeco na indústria e a redução do rendimento do produto industrializado, também tem sido muito enfatizado. No entanto, nos experimentos com doses de N, P e K, pequeno aumento do teor de água na erva-mate comercial, ocorreu com adubação nitrogenada para colheitas com intervalo de 12 meses e na adubação potássica para colheitas com intervalos de 12 e 24 meses. Por outro lado, o N, P e K reduziram o teor de água em colheitas com 18 meses, mesmo efeito também causado pela adubação nitrogenada para colheitas com intervalo de 24 meses. Alguns casos, como a adubação fosfatada em colheitas com intervalo de 12 e 24 meses, não houve alteração do teor de água na erva-mate comercial. Esses resultados contradizem a ideia defendida pela indústria. A dificuldade no sapeco da erva-mate comercial proveniente de ervais adubados, provavelmente, esteja relacionado à espessura da folha, por conter mais massa quando comparada a de ervais desnutridos com folhas menos espessas.

Esses resultados demonstram que, a constante redução da produtividade de erva-mate brasileira ocorrida nas últimas duas décadas corrobora com a atual desorganização e desinteresse do próprio setor ervateiro em reverter o atual quadro. Pois, uma recomendação de adubação adequada, somado a um simples incentivo aos produtores colherem ervais em intervalos de 18 meses é possível dobrar a produtividade brasileira de erva-mate, sem tantos esforços. É importante considerar que, as expressivas respostas

da erva-mate aos experimentos realizados, foram obtidas em cultivos estabelecidos com mudas propagadas via sexuada sem nenhum controle ou melhoramento genético, sendo o fator genético outro campo a ser explorado visando aumento da produtividade.

CONCLUSÕES GERAIS

A erva-mate, na fase de produção, responde positivamente a calagem com aumento da produtividade. O teor crítico de Mg na camada de 0-5 cm do solo varia de 2,5 a 3,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A disponibilidade de Ca deve ser diferenciada por local. Para cultura, estabelecida em solos naturalmente com disponibilidade de Ca em nível baixo, a calagem deve prever disponibilizar o nutriente na profundidade de 0-5 cm entre 4,0 e 4,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, já a adaptada naturalmente a solos com disponibilidade de Ca em nível alto, disponibilizar o nutriente até 6,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A composição de Ca e Al no tecido da erva-mate é afetada pela fertilidade do solo. A cultura adaptada naturalmente em solos com disponibilidade de Ca em nível alto produz erva-mate comercial com maior conteúdo de Ca e menor de Al, quando comparada a de solos com baixa disponibilidade natural de Ca e alta de Al.

A erva-mate responde positivamente a adubação nitrogenada, fosfatada e potássica, com aumento de todos os componentes da copa avaliados.

Cultivos colhidos com intervalos de 18 meses apresentam maior incremento da produtividade de erva-mate comercial em resposta à adubação, independente do elemento NPK testado. Contudo, maiores produtividades nos cultivos com intervalos entre colheitas de 24 meses, requerem maior demanda por N, P e K.

Para máximas produtividades de cultivos em solos argilosos com baixa disponibilidade de P e K, e com alto teor de carbono orgânico, doses de 190 a 220 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O são recomendadas em colheitas com intervalos de 12 meses. Em colheitas com 18 meses de intervalo, este feito, ocorre com doses de N, P_2O_5 e K_2O entre 270 a 285 kg ha^{-1} , e, nas com intervalo de 24 meses, as doses variam de 290 até superiores a 320 kg ha^{-1} .

A adubação nitrogenada aumenta a disponibilidade de nitrogênio lábil no solo para colheitas com menores intervalos de tempo. O teor de nitrogênio total no solo, com adubação nitrogenada, é favorecido em intervalos de colheita mais longos, e reduz em colheitas de 12 meses.

O aumento do carbono orgânico lábil em resposta a adubação nitrogenada é mais expressiva nas colheitas com intervalos de 12 e 18 meses em todas as profundidades do

solo. Para colheitas com intervalos de 24 meses, esse efeito ocorre somente na camada mais superficial do solo.

O intervalo de colheita não altera o teor de carbono orgânico total na camada superficial do solo. Nas camadas mais profundas, colheitas com 24 meses reduzem o carbono total do solo.

O aumento da produtividade de erva-mate comercial com a idade da copa é acompanhado por uma maior produção de galho grosso.

A melhoria da produtividade de cultivos de erva-mate em fase de produção é dependente do aumento da disponibilidade de P e K no solo. Altas produtividades de erva-mate são dependentes de disponibilidade de P e K em nível alto no solo na profundidade de 0-10 cm.

Intervalo de 12 meses entre colheitas é tempo insuficiente para recuperar a planta do impacto da remoção da copa, mesmo quando bem nutrida. Colheitas com intervalos de 18 e 24 meses proporcionam ervais mais produtivos e eficientes na utilização dos fertilizantes.

Teor foliar, de nitrogênio entre 33,0 e 37,0 g kg⁻¹, de fósforo entre 1,2 a 1,6 g kg⁻¹ de K próximo a 17,0 g kg⁻¹ indica plantas de erva-mate bem nutridas destes nutrientes.

No manejo de ervais com intervalos de colheitas de 12 meses, a produtividade de galho grosso é baixa, sem necessidade de removê-los da área. Em colheitas com intervalos de 18 e 24 meses a produtividade de galho grosso aumenta significativamente, e o conteúdo de N, P e K quando este componente é retirado da área, deve ser previsto na adubação de reposição.