



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III
80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>
email: pinheiro@floresta.ufpr.br

ANA CLÁUDIA ZAMPIER

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE NUTRIENTES, CAFÉINA E TANINOS APÓS ADUBAÇÃO
MINERAL E ORGÂNICA, E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE
NA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St Hil.)**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em **Silvicultura**, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rudi Arno Seitz

Curitiba/PR
Agosto - 2001

Quando se planta uma semente na terra, no início não tem sinal aparente de energia vital, no entanto ela encerra em si todo o potencial da planta que deve gerar e no momento certo irá nascer e desenvolver-se.

DEDICO

Ao meu pai João,

À minha mãe Alvina,

Meu amor e minha eterna gratidão....

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Rudi Arno Seitz, pela confiança, orientação e “paciência”.

Ao Professor Carlos Bruno Reissmann, por todas as sugestões, amizade e encorajamento.

Ao Professor Paulo Fontoura, pelas sugestões e por ter possibilitado a determinação da cafeína.

Ao pesquisador Dr. Edilson de Oliveira, da Embrapa/CNPFlorestas, pela ajuda na realização das análises estatísticas.

Ao Renato do Departamento de Tecnologia Química da UFPR, pelo treinamento na determinação de cafeína.

A minha irmã Angela, pelo apoio, encorajamento, sugestões e ajuda inesgotável. Aos meus irmãos que estiveram do meu lado, pelo carinho e estímulo, sempre presentes nos momentos críticos.

A minha grande amiga Natalina de Bastiani, pelo estímulo e confiança.

Aos meus amigos Alba Resende, Débora e Sérgio Gaiad, Miguel Lanzaolo, pelas importantes correções e sugestões.

À Engenheira Florestal Tânia M. M. Ramos, por todo o ensinamento e pelo convívio, que trouxeram enriquecimento a minha vida pessoal e profissional.

À todos os professores do curso de pós graduação, e aos colegas do curso, pela rica troca de experiências.

Ao seu Sebastião, por me ensinar o amor pela terra.

Ao seu Vivaldo, pelo carinho e apoio no cuidado das plantas.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição de Plantas do Setor de Ciências Agrárias e do Laboratório de Tecnologia Química da UFPR, pela atenção e auxílio na realização das análises.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa - CNPq, pelo aporte financeiro deste trabalho.

A todos os que passaram pela minha vida deixando suas marcas e ensinamentos.

A Deus, pela maravilha de ser.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. CONSIDERAÇÕES FÍSICAS E BIOLÓGICAS SOBRE A ERVA-MATE	4
2.1.1. Classificação Taxonômica	4
2.1.2. Descrição Botânica	4
2.1.3. Biologia Reprodutiva e Fenologia	5
2.1.4. Área de Ocorrência Natural	5
2.1.5. Aspectos Climáticos e Fitossociológicos	6
2.1.6. Aspectos Edáficos	9
2.1.7. Características Silviculturais	10
2.2. ELEMENTOS MINERAIS E MANEJO DE SOLOS	12
2.2.1. Resultados de Avaliações Nutricionais em erva-mate	12
2.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA E FERTILIDADE	24
2.3.1. Influência nas Propriedades Físicas e Nutricionais do Solo	25
2.3.1.1. Macronutrientes	26
2.3.1.2. Micronutrientes	28
2.3.2. Influência nas Propriedades Físico-Químicas do Solo	29
2.3.3. Vermicompostagem	30
2.4. COMPONENTES QUÍMICOS	31
2.4.1. Alcalóides	32
2.4.2. Taninos	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA	39
3.2. METODOLOGIA	39
3.2.1. Definição dos Tratamentos	39
3.2.2. Delineamento Experimental	40

3.2.3. Caracterização do Material do Experimento	40
3.2.3.1. Recipiente	40
3.2.3.2. Preparo do Substrato	40
3.2.4. Quantidade e Forma de Aplicação dos Fertilizantes	41
3.2.5. Preparo das Mudas	42
3.3. VARIÁVEIS MENSURADAS	42
3.4. ANÁLISES FOLIARES	43
3.4.1. Coleta de Material Para Análise	43
3.4.2. Análise Química de Nutriente das Folhas	43
3.4.3. Determinação Quantitativa de Cafeína	44
3.4.4. Determinação Quantitativa de Tanino	45
3.5. ANÁLISE DO SOLO	46
3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1. TEOR DE NUTRIENTES NO SUBSTRATO	48
4.2. TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE ERVA-MATE	49
4.2.1. Correlações entre Teores dos Elementos no Solo e na Planta	50
4.2.2. Análise das Variáveis Químicas Foliares	54
4.2.3. Correlações entre Variáveis Químicas	63
4.3. VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS	66
4.3.1. Análise das Variáveis Morfológicas de Crescimento	66
4.3.2. Correlações entre Variáveis Morfológicas com Variáveis Químicas Foliares	71
4.4. CAFEÍNA E TANINO	73
4.4.1. Resultados das Determinações de Cafeína e Tanino nas Folhas	73
4.4.2. Correlações entre Teores de Cafeína e Tanino com Variáveis de Produtividade e com Variáveis Químicas Foliares	78
5. CONCLUSÕES	80
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	

LISTA DE TABELAS

	Pág.
TABELA 1 - NÍVEIS DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO SOLO NA REGIÃO ERVATEIRA EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE DA ERVA-MATE	13
TABELA 2 - NÍVEIS DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE	14
TABELA 3 - RENDIMENTO OBTIDO EM ERVA-MATE APÓS ADUBAÇÃO DE N, P e K	14
TABELA 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE NUTRIENTES NOS DIFERENTES TECIDOS DE ERVA-MATE (g/100 g)	15
TABELA 5 - TEOR DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE, COLETADAS EM JULHO/83, EM CAMBISSOLO ÁLICO, NA REGIÃO DE MANDIRITUBA	16
TABELA 6 - MACRONUTRIENTES EXPORTADOS, POR OCASIÃO DA SAFRA DE ERVA-MATE, NOS MESES DE JULHO E OUTUBRO, RELATIVOS A POVOAMENTOS NATIVOS DE 250 E 700 ÁRV/ha	16
TABELA 7 - TEOR DE MICRONUTRIENTES EXPORTADOS, POR OCASIÃO DA SAFRA DE ERVA-MATE, EM UMA POPULAÇÃO DE 250 ÁRV/ha	17
TABELA 8 - QUANTIDADE DE N, P, K, CA e MG NA BIOMASSA DE POVOAMENTOS DE <i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil. VALORES DA SAFRA	17
TABELA 9 - QUANTIDADE DE N, P, K, CA e MG NA BIOMASSA DE POVOAMENTOS DE <i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil. VALORES DA SAFRINHA	18
TABELA 10 - RECOMENDAÇÃO DE N NA ADUBAÇÃO EM ERVA-MATE	19
TABELA 11 - RECOMENDAÇÃO DE P e K (KG/ha) NA ADUBAÇÃO EM ERVA-MATE	20
TABELA 12 - TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA, TESTADOS EM ERVA-MATE	21
TABELA 13 - TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA, TESTADOS EM ERVA-MATE	21
TABELA 14 - CONTEÚDO DE SUBSTÂNCIAS TÂNICAS EM AMOSTRAS COMERCIAIS DE ERVA-MATE (%)	38
TABELA 15 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO SOLO	41
TABELA 16 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO HÚMUS	41
TABELA 17 - TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO QUÍMICA, TESTADOS NO EXPERIMENTO COM ERVA-MATE (kg/m ³)	41
TABELA 18 - CONTRASTES REALIZADOS PARA COMPARAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS	47

TABELA 19 - TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO, CALCULADOS COM BASE NAS ANÁLISES DE SOLO E HÚMUS	48
TABELA 20 - TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE ERVA-MATE	50
TABELA 21 - TESTE DE MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES FOLIARES EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS APLICADOS EM MUDAS DE ERVA-MATE	55
TABELA 22 - RESULTADOS DO TESTE F PARA CONTRASTES ENTRE TRATAMENTOS DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS FOLIARES OBTIDAS EM MUDAS DE ERVA-MATE	56
TABELA 23 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES EM ERVA-MATE COM TEORES FOLIARES CONSIDERADOS ADEQUADOS PARA ALGUMAS ESSÊNCIAS FLORESTAIS	56
TABELA 24 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES FOLIARES DE MICRONUTRIENTES EM ERVA-MATE COM TEORES FOLIARES CONSIDERADOS ADEQUADOS PARA ALGUMAS ESSÊNCIAS FLORESTAIS	60
TABELA 25 - MATRIZ DE CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS QUÍMICAS FOLIARES EM MUDAS DE ERVA-MATE	63
TABELA 26 - TESTE DE MÉDIAS DAS VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS APLICADOS EM MUDAS DE ERVA-MATE	67
TABELA 27 - VALOR DE F PARA OS CONTRASTES ENTRE OS DIFERENTES TIPOS DE ADUBAÇÃO APLICADOS	67
TABELA 28 - RESULTADOS DAS CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E VARIÁVEIS QUÍMICAS FOLIARES, EM MUDAS DE ERVA-MATE	71
TABELA 29 - TESTE DE MÉDIAS PARA OS TEORES FOLIARES DE CAFEÍNA E TANINOS EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS APLICADOS EM MUDAS DE ERVA-MATE	74
TABELA 30 - VALOR DE F PARA OS TESTES DE CONTRASTES ENTRE OS DIFERENTES TIPOS DE ADUBAÇÃO APLICADOS	74
TABELA 31 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES DE CAFEÍNA EM PLANTAS DE ERVA-MATE SOB DIFERENTES FORMAS DE CULTIVO	75
TABELA 32 - RESULTADOS DAS CORRELAÇÕES ENTRE TEORES DE CAFEÍNA E TANINO COM VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E VARIÁVEIS QUÍMICAS FOLIARES EM MUDAS DE ERVA-MATE	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 - ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO NATURAL DA ERVA-MATE NA AMÉRICA DO SUL	7
FIGURA 2 - ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO NATURAL DE ERVA-MATE E ARAUCARIA	8
FIGURA 3 - ESQUEMA DA BIOSÍNTESE E BIODEGRADAÇÃO DE CAFEÍNA, TEOBROMINA E TEOFILINA EM CAFÉ: 1,3-N-METHYLTRANSFERASE, 2,1-N-METHYLTRANSFERASE, H*-LABEL NA MOLÉCULA DE CAFEÍNA	34
FIGURA 4 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SUBSTRATO E ABSORVIDO POR PLANTAS DE ERVA-MATE	52
FIGURA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES DE MICRONUTRIENTES NO SUBSTRATO E ABSORVIDO POR PLANTAS DE ERVA-MATE	53
FIGURA 6 - MECANISMO DE COMPLEXAÇÃO DOS METAIS	53
FIGURA 7 - ANTAGONISMOS VERIFICADOS ENTRE TEORES FOLIARES DE Mg x K e Mg x Mn EM PLANTAS DE ERVA-MATE	65
FIGURA 8 - CRESCIMENTO RELATIVO EM ALTURA (ALT), DIÂMETRO DE COLO (DIA), MASSA SECA FOLIAR (MSF) E MASSA SECA TOTAL DA PARTE AÉREA (MST), EM RELAÇÃO À TESTEMUNHA, NOS TRATAMENTOS SOB DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO	68
FIGURA 9 - RESULTADOS DOS TEORES FOLIARES DE CAFEÍNA E TANINOS EM PLANTAS DE ERVA-MATE SUBMETIDAS À ADUBAÇÃO	73
FIGURA 10 - COMPORTAMENTO DOS TEORES FOLIARES DE N, P e K RELAÇÃO AOS TEORES FOLIARES DE CAFEÍNA E TANINOS EM FOLHAS DE ERVA MATE, EM TRATAMENTOS SOB DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ALT	Altura
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DIA	Diâmetro de colo
IAL	Instituto Adolfo Lutz
M.O.	Matéria orgânica
MSF	Peso de massa seca foliar
MST	Peso de massa seca total da parte aérea
T	Tratamentos
UV	Ultra Violeta

**AValiação DOS NÍVEIS DE NUTRIENTES, CAféINA E TANINOS APÓS ADUBAÇÃO MINERAL E
ORGÂNICA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE
EM ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St Hil.)**

Autor: Ana Cláudia Zampier
Orientador: Prof. Dr. Rudi Arno Seitz

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a resposta à aplicação de diferentes doses de N, P e K, e sua substituição por componente orgânico na adubação em *Ilex paraguariensis* St. Hil., visando aumento da produtividade e manutenção da qualidade ambiental em áreas cultivadas. Além disso, avaliar teores de cafeína e tanino, que estão relacionados com aspectos qualitativos. Foram instalados 6 tratamentos com 4 repetições em blocos de 16 plantas, totalizando 384 plantas, tendo sido realizado em viveiro utilizando plantas de um ano de idade. Os fertilizantes aplicados foram o Sulfato de Amônio, Superfosfato Simples e Cloreto de Potássio. A quantidade de cada fertilizante foi calculada com base nas recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC, (1994). A fórmula utilizada no tratamento T1 foi N-P-K equivalente à 0,13 kg N/m³, 0,17 kg P/m³ e 0,10 kg K/m³ de substrato; no tratamento T2 foi aplicado N-P-K equivalente à 0,13 kg N/m³, 0,075 kg P/m³ e 0,13 kg K/m³; no tratamento T5 foi realizada mistura de solo e húmus de minhoca, na proporção 2:1 e adicionado ao substrato 75 ppm de P, ou seja, 0,075 kg P/m³ e nos tratamentos T3 e T4 foi feita mistura de solo e húmus de minhoca nas proporções 1:1 e 2:1, respectivamente. Os resultados obtidos demonstraram grande variação à modificação das condições de fertilidade do solo, sendo permitidas as seguintes conclusões: i) os tratamentos com componentes orgânicos provocaram médias das variáveis, matéria seca (MSF), altura (ALT) e diâmetro de colo (DIA), significativamente maiores, sendo que o tratamento com menor quantidade de húmus na composição solo:húmus apresentou as maiores médias de ALT, DIA e níveis foliares de N e Cu; ii) os nutrientes N, P, Ca, Mg e Cu também apresentaram as maiores médias nos tratamentos com húmus de minhoca; iii) o N foi o elemento limitante à produção de massa foliar em erva-mate; iv) variação nas doses de P não se traduziram em ganho de produtividade; v) os tratamentos com aplicação de adubo químico (N-P-K) apresentaram maiores médias no teor foliar dos elementos K e Mn; vi) com relação aos parâmetros qualitativos, os teores foliares de cafeína foram significativamente maiores nos tratamentos que tiveram em seu substrato húmus de minhoca, mostrando relação direta com o teor de N, em correlações altamente significativas. Considerando os resultados encontrados, a utilização de húmus de minhoca é altamente recomendável, além de ser uma prática ambientalmente correta.

EVALUATION OF THE LEVELS OF NUTRIENTS, CAFFEINE AND TANNIN AFTER MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION AND ITS RELATION WITH PRODUCTIVITY IN PARAGUAY-TEA (*Ilex paraguariensis* St Hil.)

Author: Ana Cláudia Zampier
Adviser: Professor Doctor Rudi Arno Seitz

ABSTRACT

The objective of current work is to evaluate the response to the application of different doses of N, P and K, and its substitution for organic components in fertilization in *Ilex paraguariensis* St. Hil., with views to the increase of the productivity and maintenance of the environmental quality in cultivated areas. Besides that, its objective is to evaluate the level of caffeine and tannin which are related to qualitative aspects. 6 treatment units have been installed with 4 repetitions in block of 16 plants totaling up 384, it has been realized in a plant nursery with plants aged one year old. The fertilizers used were the ammonium sulphate, superphosphate simple and potassium chloride. The quantity of each fertilizer has been calculated based on the recommendations of the "Comission of fertility of the soil" RS/SC, (1994). The formula used in the treatment T1 has been N-P-K equivalent to 0,13 kg N/m³; 0,17 kg P/m³ and 0,10 kg K/m³ of soil, and in the treatment T2 it has been used N-P-K equivalent to 0,13 kg N/m³; 0,075 kg P/m³ e 0,13 kg K/m³, in the treatment T5 it has been used a mix of soil and humus of worm, in the proportion of 2:1 and it has been added 75 ppm of P in the soil, that is, 0,075 kg P/m³, and in the treatments T3 and T4 it has been a mix of soil and humus of worms in the proportion 1:1 and 2:1, respectively. The results obtained have shown great variation in relation to the modification of the soil conditions of fertility, leading to the following conclusions: i) the treatment with organic substances have caused average of variables, dry substance (MSP), height (ALT) and the diameter of colon (DIA), significantly bigger, once the treatment with a smaller quality of humus in the proportion of soil:humus has presented the greatest averages of height (ALT), diameter of colon (DIA) and leaf levels of N and Cu; ii) the nutrients N, P, Ca, Mg and Cu have also presented the greatest averages in the treatment with humus of worm; iii) the N has been the limiting element in relation to the production of leaf quantity in Paraguay-tea; iv) the variation in the doses of P has not led to a growth of productivity; v) the treatment with use of chemical fertilizer (N-P-K) has shown greater averages in the leaf level of the elements K and Mn; vi) in relation to the qualitative parameters the leaf levels of caffeine have been significantly greater in the treatments which have had in its soil the humus of worm, establishing direct relation with the level of N in a significant high correlation. Considering the results obtained, the use of humus of worm is highly advisable besides being an environmentally - friendly activity.

1. INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie nativa da Região Sul do Brasil e têm importância histórica na cultura e na economia dessa região e de países limítrofes como a Argentina, o Uruguai e o Paraguai.

Em regiões onde ocorre naturalmente, a erva-mate foi precursora do desenvolvimento, influenciando hábitos culturais e gerando riquezas e benefícios diretos e indiretos ao longo de sua cadeia produtiva. Como benefício direto destaca-se o emprego de grande quantidade de mão-de-obra nas fases de produção, beneficiamento e comercialização dos produtos, e como benefícios indiretos o fortalecimento do setor primário, secundário e terciário da economia, a exploração de novas fronteiras, o estabelecimento de estradas e portos, podendo-se citar como exemplo, a importância histórica do rio Iguaçu e a construção da estrada de ferro Curitiba - Paranaguá, por onde era realizado o escoamento da produção até o Porto de Paranaguá, local de saída das exportações de erva-mate. Produto de destaque na economia cabe ressaltar que as exportações de erva-mate ocuparam o 2º lugar da balança comercial de exportação nacional até a II Guerra Mundial, quando o seu ciclo econômico começou a declinar.

O setor ervateiro retomou o crescimento a partir de 1993 chegando a uma produção de 529 mil toneladas de erva verde nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 1996). A partir daí a tendência sempre foi aumentar a produção, que em 1999, atingiu cerca de 667 mil toneladas nos três Estados do Sul (IBGE, 2000).

Atualmente a erva-mate recupera sua importância na economia, agora não pelo desbravamento físico de fronteiras, mas pela conquista de novos mercados face ao desenvolvimento de produtos, principalmente nos mercados de bebidas, cosméticos, medicamentos e higiene, além de vários estudos fitoquímicos com objetivo de explorar o seu potencial. Estudos recentes apontam que o acúmulo de cafeína e teobromina é uma característica única de *Ilex paraguariensis*. Cabe salientar que, no Ministério da Saúde do Brasil, há o registro de 14 preparações derivadas da erva-mate e na Alemanha seis preparações homeopáticas e ainda 452 produtos comerciais à base desta espécie.

Em relação ao mercado, há uma revalorização dos produtos naturais com aumento da demanda por produtos orgânicos, de uma forma geral. No caso específico da erva-mate, esta tendência configura ganho de valor agregado quando a matéria-prima é proveniente de ervais nativos, ou manejados através de adensamento, obedecendo aos princípios de sustentabilidade natural do sistema.

No sistema produtivo da erva-mate, a adubação poderá garantir o suprimento das exigências da cultura e assegurar a produtividade, entretanto, deve-se considerar que tanto a adubação como os fatores relacionados ao meio ambiente, como, por exemplo, condições de luz e umidade, são determinantes quando se consideram as suas características organolépticas e composição química, ou seja, a forma de manejo está diretamente relacionada com a qualidade do produto final.

Observa-se um paradoxo em relação ao aumento crescente de produção de erva-mate, com o aumento de diversificação de seu uso. Enquanto a produção de matéria-prima de erva-mate é 80% proveniente de ervais nativos, de forma extrativista, a indústria se modernizou, deixou de ser específica de chá ou chimarrão, para ser aplicada em muitos outros usos. A questão é por quanto tempo haverá a sustentabilidade dos ervais nativos, tendo em vista a sua crescente demanda, e como os ervais podem ser manejados para que os meios de produção atendam esta demanda.

Nos ervais nativos em geral, o solo é constantemente beneficiado pela cobertura de folhas e outros vegetais que se decompõem lenta e constantemente. Nos ervais cultivados em terra fértil e protegida contra erosão, o rendimento pode manter-se elevado por muito tempo, entretanto, com as colheitas sucessivas das folhas e ramos, o solo vai perdendo a fertilidade natural, necessitando a fertilização (FERREIRA FILHO, 1957; FERREIRA, 1979 e BRAGAGNOLO *et al.*, 1980). Para LOURENÇO *et al.* (1997) é necessário ajustar a relação entre o nível de rendimento das plantações, com o nível nutricional do solo e da planta a fim de manter e incrementar a produtividade e a conservação dos recursos solo - planta.

A matéria orgânica desempenha um importante e bem conhecido papel na manutenção da fertilidade do solo. Esta contém a maioria das reservas de N para a nutrição das plantas, bem como uma larga proporção de P e outros macro e micronutrientes. Em ambientes naturais, ocorre um equilíbrio dinâmico decorrente da

constante adição e decomposição de materiais vegetais, garantindo a manutenção das reservas nutricionais do solo.

Conhecendo-se as exigências nutricionais de uma espécie e a disponibilidade no solo, é que poderão ser estabelecidas quantidades e formas de reposição de nutrientes que venham a suprir tais exigências.

O presente trabalho visa estabelecer uma análise da influência de diferentes formas de adubação em ervais, com os seguintes objetivos:

- a) comparar a resposta, em mudas de erva-mate, quando submetidas a adubação com diferentes doses de N, P e K, e adubação com uso de um componente orgânico incorporado ao substrato;
- b) avaliar a resposta da erva-mate à variação da disponibilidade do fósforo [P] no substrato;
- c) quantificar os nutrientes que ocorrem na planta, em um período vegetativo após a adubação, através de análise foliar; e,
- d) avaliar teores de cafeína e taninos, buscando identificar possíveis correlações com os elementos minerais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONSIDERAÇÕES FÍSICAS E BIOLÓGICAS SOBRE A ERVA-MATE

2.1.1. Classificação Taxonômica

A erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil. é originária da América do Sul, pertence à subdivisão Angiospermae, classe das Dicotiledôneas, subclasse Archichlamydes, ordem Celastales, família **Aquifoliaceae** (⁷ENGLER, 1964 citado por VALDUGA, 1995), sendo classificada pelo naturalista francês August de Saint Hillaire, e assim publicada em 1822, nas memórias do Museu de História Natural de Paris.

2.1.2. Descrição Botânica

A altura da erva-mate é variável. Quando cultivada varia de 3 – 5 m, porém, na floresta pode alcançar 25 m de altura e 70 cm de DAP. Possui tronco cilíndrico, reto ou pouco tortuoso. O fuste é geralmente curto, porém, na mata atinge até 11 m de comprimento. Possui ramificação racemosa, quase horizontal com copa baixa e densifoliada. A casca pode ter espessura de até 20 mm. A casca externa é cinza clara ou acastanhada, persistente, áspera a rugosa, com lenticelas abundantes, formando às vezes linhas longitudinais e munidas de cicatrizes transversais. A casca interna apresenta textura arenosa e cor branca-amarelada, que após incisão escurece rapidamente em contato com o ar (CARVALHO, 1994).

As folhas são simples, alternas, geralmente estipuladas; subcoriáceas até coriáceas; glabras; verde escura no bordo superior e mais clara no inferior; limbo foliar obovado, comumente com 5 cm a 10 cm de comprimento por 3 cm a 4 cm de largura; margem irregularmente serrilhada ou denteada, no terço da base geralmente lisa, ápice obtuso, freqüentemente com um múcron curto; nervuras

⁷ ENGLER, A. Syllabus der Pflanzenfamilien. 12. Auf. Berlin: Borntraeger, 1964. v.2.

laterais pouco impressas por cima e salientes por baixo; pecíolo relativamente curto, com 7 mm a 15 mm de comprimento (CARVALHO, 1994).

As flores são pequenas, polígamas, dióicas, com cálice e corola de constituição tetrâmera. Pedunculadas, agrupadas em cimeiras fasciculares nas axilas das folhas. Possuem uma característica especial, pois, embora, em todas se encontrem estames e pistilo, nas femininas, os estames são rudimentares, e nas masculinas, o pistilo aborta. Em função disto ocorre dificuldade de polinização natural (ZANON, 1988; CARVALHO, 1994).

Os frutos consistem numa drupa globosa de 4 mm a 6 mm de diâmetro, tetralocular, de superfície lisa, de cor violácea, quase preta quando madura, com 4 a 5 sementes e polpa mucilagínosa. Apresenta frutificação abundante com disseminação ornitócora. No endocarpo (fruto-semente), está aderida internamente a semente, tegumento membranáceo, castanho claro, forma variável, endosperma carnoso; embrião minúsculo apical e rudimentar. O amadurecimento dos frutos ocorre nos meses de janeiro e março (CARVALHO, 1994).

2.1.3. Biologia Reprodutiva e Fenologia

A erva-mate é uma espécie dióica, cuja floração ocorre de setembro a dezembro. Quanto à frutificação, ocorrem frutos maduros de dezembro até abril. A floração e frutificação iniciam gradativamente em árvores plantadas, aos 2 anos em árvores oriundas de propagação vegetativa e aos 5 anos em árvores provenientes de sementes, em sítios adequados. A dispersão das sementes é feita por pássaros, principalmente sabiás (CARVALHO, 1994).

2.1.4. Área de Ocorrência Natural

A área de ocorrência natural abrange aproximadamente 540.000 km² (3% da América do Sul), entre as latitudes 21° S e 30° S e longitudes de 48° 30' W até 56° 10' W (OLIVEIRA & ROTTA, 1985). Segundo CARVALHO (1994), a erva-mate ocorre em uma ampla região compreendida entre 12° e 35° S e 40° e 65° W, dentro da qual se pode definir uma zona menor, delimitada pelos paralelos 18° e 30° e os

meridianos de 47° e 58°, onde a sua presença é mais freqüente. Sua área de ocorrência atinge a Argentina (nordeste), Paraguai (leste), Uruguai (noroeste).

No Brasil são 450.000 km² ou 5% do território nacional; abrangendo os Estados de Mato Grosso do Sul (sul), Paraná (sul, centro, oeste e noroeste), Rio Grande do Sul (centro-norte e sul), Santa Catarina (oeste) e em reduzidos nichos de ocorrência de *Araucaria angustifolia*, em Minas Gerais (sul), Rio de Janeiro (Itatiaia) e São Paulo (Serra da Cantareira e sul do Estado) (OLIVEIRA & ROTTA, 1985; CARVALHO, 1994). A Figura 1 apresenta a área de distribuição natural da erva-mate, segundo esquema de OLIVEIRA & ROTTA (1985).

A *Ilex paraguariensis*, considerando as formações florísticas associadas, cresce espontaneamente em regiões constituídas por matas de *Araucaria angustifolia* e matas subtropicais do sul do Brasil. A figura 2 apresenta o mapeamento da distribuição de ambas as espécies.

2.1.5. Aspectos Climáticos e Fitossociológicos

A altitude de ocorrência natural de erva-mate varia de 400 a 1800 m em sua área de ocorrência natural. Entretanto, na Região Sul, ela pode ocorrer em altitudes inferiores a 400 m, como por exemplo em Foz do Iguaçu/PR (160 m) e Florianópolis (25 m) (CARVALHO, 1994).

A precipitação média anual está em torno de 1500 mm, variando de 1100 mm a 2300 mm. O regime de chuvas é uniforme na maior parte da sua área (Região Sul) e estacional, com chuvas concentradas no verão, com estação seca pouco pronunciada no inverno, podendo haver deficiência hídrica leve no noroeste do Paraná e sul de Mato Grosso do Sul (CARVALHO, 1994).

A temperatura média anual da área de ocorrência da erva-mate pode variar de 12°C a 24°C, com maior distribuição de 15°C a 18°C. A temperatura média do mês mais frio varia de 08°C a 19°C e a temperatura média do mês mais quente varia de 18°C a 26°C. Dois tipos climáticos são citados, segundo Köeppen, Cfb (clima temperado) e Cfa (clima subtropical), embora possam ocorrer em menor escala em Cwa, Cwb e Aw (OLIVEIRA & ROTTA, 1985; CARVALHO, 1994).



FIGURA 1 - ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO NATURAL DA ERVA-MATE NA AMÉRICA DO SUL

FONTE: Adaptado de OLIVEIRA & ROTTA, 1985

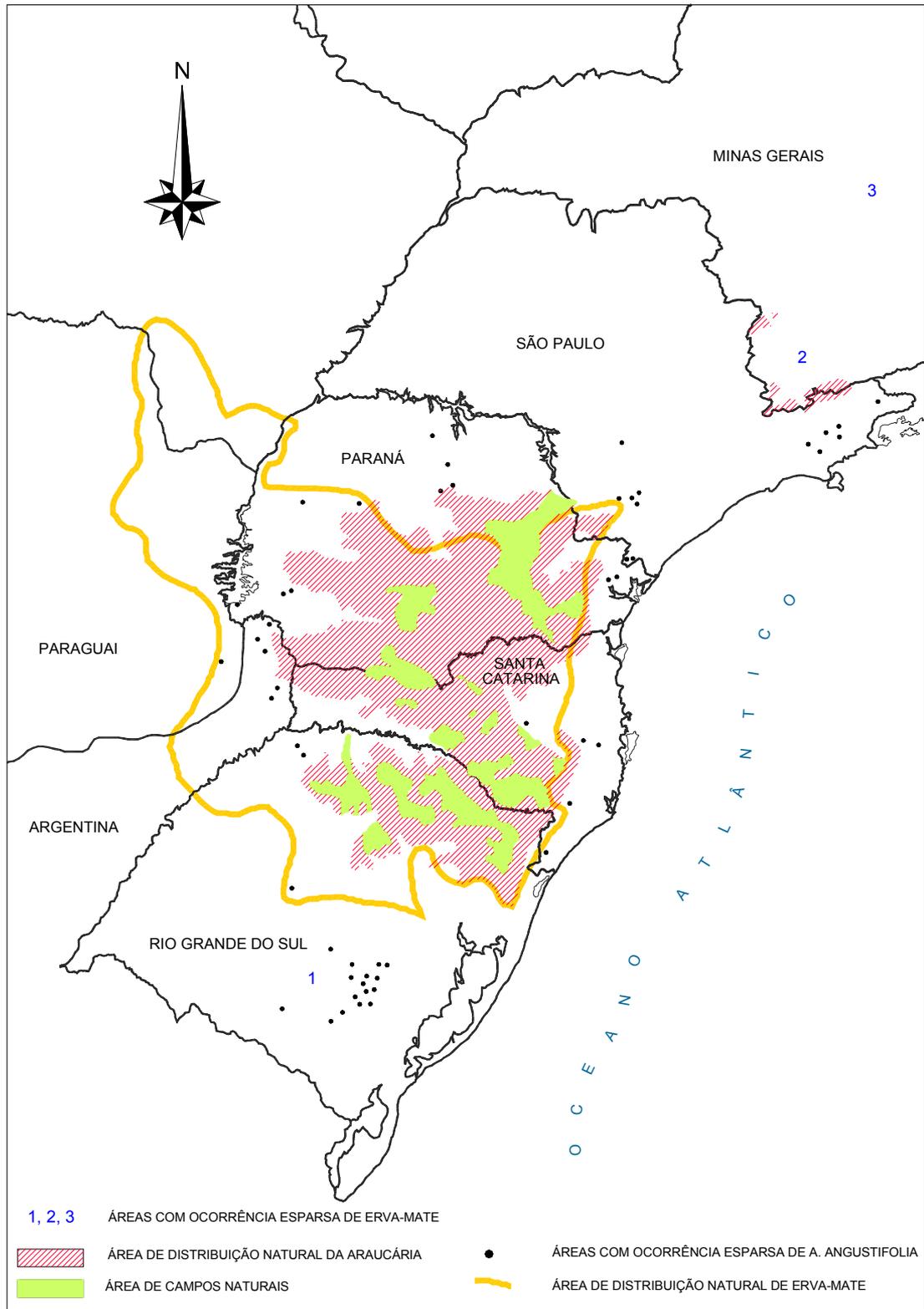


FIGURA 2 - ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO NATURAL DE ERVA-MATE E ARAUCARIA

FONTE: Adaptado de OLIVEIRA & ROTTA, 1985

No estágio sucessional da floresta, cresce preferencialmente nas associações mais evoluídas dos pinhais. Regenera-se com facilidade quando o estrato arbóreo superior, e principalmente, os estratos arbustivos e herbáceos são raleados. É uma espécie característica da Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta com Araucária), sempre em associações nitidamente evoluídas com o pinheiro-do-paraná. Penetram na Floresta Estacional Semidecidual no noroeste do Paraná e no sul do Mato Grosso do Sul (CARVALHO, 1994).

No seu habitat natural, a erva-mate está presente em florestas nativas subtropicais, em conjunto com pinheiros (*Araucaria sp*), imbuia (*Ocotea sp*), cedro (*Cedrela sp*) e outras espécies (MAYOL, 1993). Nos pinhais, além da *Araucaria angustifolia*, as espécies florestais mais comuns, que estão consorciadas com erva-mate são: imbuia (*Ocotea porosa*), cedro (*Cedrela fissilis*), pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*), canjarana (*Cabralea canjerana*), alecrim (*Holocalyx balansae*), pinho-bravo (*Podocarpus sp*), mirtáceas, lauráceas e leguminosas diversas, entre outras (OLIVEIRA & ROTTA, 1985).

2.1.6. Aspectos Edáficos

Os solos mais indicados para o cultivo de erva-mate são os latossolos roxos, muito intemperizados, lixiviados, argilosos, permeáveis (infiltração média de 1.200 mm/hora), ácidos ou ligeiramente ácidos, medianamente férteis, derivados de basalto e suas fases de erosão (PRAT KRICUN, 1985).

A cultura não suporta solos compactados, pedregosos ou saturados, uma vez que 80% de seu sistema radicular se concentram nos primeiros 45 cm do solo (ARANDA, 1986). Além disso, a cultura requer solos ricos em nitrogênio, potássio, ferro e fósforo (MAYOL, 1993).

PICCOLO (1996), afirma que os solos aptos para plantios de erva-mate são os solos Lateríticos, pertencentes às ordens Ultissolos, Alfissolos e Oxissolos. Caracterizam-se por sua cor avermelhada, alta profundidade, elevado teor de argila, ótimas condições físicas (principalmente permeabilidade), mediana fertilidade, pH ácido em todo o perfil e teores relativamente altos de matéria orgânica.

Embora a textura dos solos da região de ocorrência seja muito variável, a erva-mate prefere as terras que mostram equilíbrio na composição de areia, silte e argila. Adapta-se melhor em solos de texturas médias (entre 15 % e 35 % de argila) e argilosa (acima de 35 % de argila), e solos profundos a medianamente profundos. Não ocorre em solos hidromórficos, prefere solos úmidos e bem drenados. É considerada uma espécie tolerante a solos de baixa fertilidade natural, sendo mais freqüente em solos com baixo teor de nutrientes trocáveis e alto teor de alumínio (CARVALHO, 1994).

FOSSATI (1997), observou que as variáveis ligadas à reação do solo influenciaram nos parâmetros de crescimento da erva-mate; com o aumento do pH diminuiu a altura total, altura da copa e área de projeção da copa das ervaíras.

Segundo KIEHL (1993), solos com pH muito ácido podem apresentar:

- deficiência de P e alta fixação do P aplicado;
- baixos teores de Ca, Mg e K;
- boa disponibilidade de micronutrientes Fe, Co, Mn, Zn;
- diminuição do Mo;
- toxidez por Fe e Mn;
- baixa CTC e baixa saturação de bases (V%); e,
- em condições de extrema acidez podem ocorrer limitações na decomposição da matéria orgânica, havendo acumulação no solo, à longo prazo.

2.1.7. Características Silviculturais

A erva-mate é uma planta esciófita, aceita sombra em qualquer idade, tolerando mais luz na fase adulta. É tolerante ao frio quando ocasionalmente a temperatura mínima absoluta chega a -12°C (CARVALHO, 1994).

Na formação de ervais de produção pode-se distinguir dois sistemas: o manejo de ervais nativos e os cultivados (EMATER, 1991).

CARVALHO (1994) faz algumas recomendações básicas em manejo e implantação de ervais:

- a) Realizar plantio misto com espécies pioneiras, que lhe darão sombra, principalmente, durante a fase juvenil;
- b) Promover abertura de faixas e plantio em linha em vegetação matricial, em mata secundária, capoeirões e capoeiras. O plantio da erva-mate sob povoamentos desbastados de Pinus, no sul do Brasil, está apresentando resultados satisfatórios, sendo recomendada a introdução da erva-mate a partir do terceiro desbaste; e,
- c) adensamento em ervais nativos, pelo plantio de mudas na mata raleada, ou pelo favorecimento e condução da regeneração natural, nos casos em que é abundante.

Estudo associado ao sombreamento em mudas relata maiores incrementos em altura e produção de matéria seca nos tratamentos mais sombreados (KASPARY, 1985). Em mudas submetidas a diferentes graus de sombreamento (0, 18, 30 e 50%) observou-se que o percentual de sobrevivência de mudas aumentou com o aumento das condições de sombreamento (COELHO *et al.*, 2000).

A erva-mate tolera plantio a pleno sol, podendo ser plantada sozinha ou em sistemas agroflorestais (DA CROCE & NADAL, 1993; SCHREINER & BAGGIO, 1983); com fertilização prévia (PRAT KRICUN, 1985; STURION, 1988; LOURENÇO *et al.*, 1997, LOURENÇO *et al.*, 2000), ou uso de coberturas verdes como fertilização natural (PHILIPPOVSKY *et al.*, 2000).

A exploração em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), consiste na colheita de folhas e ramos finos das árvores, bem como dos botões e flores no final da safra, em outubro. No entanto, não se conhece o efeito da exploração de ervais em termos de longevidade da planta e exaustão do solo.

A poda seja de formação ou de produção, é realizada de forma a interromper a dominância apical da planta para forçar o desenvolvimento de ramos laterais e aumentar a área de copa produtiva da erva-mate.

São realizadas podas de formação em mudas (STURION, 1988), e podas de produção em erva-mate (DA CROCE & NADAL, 1993; DA CROCE, 1997; PRAT KRICUN *et al.*, 1985, MAYOL, 1997; MEDRADO *et al.* (b), 2000). Em ervais nativos

ou plantados, é feita decepta para recuperar erveiras improdutivas (CHRISTIN, 1988; URFER, 2000).

Com relação a época do ano para exploração, existem considerações a respeito da realização de podas anuais, ou com intervalo de 18 meses, sendo uma no inverno e outra no verão (DA CROCE, 1997) e podas em diferentes épocas ao longo do ano (LOURENÇO *et al.*, 2000).

2.2. ELEMENTOS MINERAIS E MANEJO DE SOLOS

2.2.1 - Resultados de Avaliações Nutricionais em erva-mate

As concentrações de minerais são específicas não somente para a espécie, idade e tecido, como também dependem do ambiente. Diversos fatores controlam o teor de minerais nos vegetais, principalmente o genético (MALAVOLTA, 1980).

Os nutrientes nas árvores podem ser armazenados nos seus diferentes compartimentos em função das necessidades fisiológicas imediatas ou como reserva para uso posterior, em outros órgãos (CAMARGO & SILVA, 1975).

SOSA (1994), procurou estabelecer a relação funcional entre os rendimentos e as análises de solo e planta, em 4 regiões ervateiras da Argentina, elegendo ervais de alta, média e baixa produção. Determinou os valores médios dos elementos químicos no solo, na planta e na matéria orgânica e classificou os níveis de elementos químicos do solo em relação à produtividade de erva-mate. Os resultados encontram-se na tabela 1.

TABELA 1 - NÍVEIS DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO SOLO NA REGIÃO ERVATEIRA EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE DA ERVA-MATE

Elemento	Níveis de Produtividade			
	Baixo	Regular	Adequado	Alto
N total (%)	0,10 - 0,15	0,16 - 0,20	0,21 - 0,26	> 0,26
P (ppm)	< 4,00	4,10 - 8,00	8,10 - 10,00	> 10,00
K (meq/100 g)	0,04 - 0,11	0,12 - 0,20	0,21 - 0,30	> 0,30
Ca (meq/100 g)	1,05 - 2,20	2,21 - 4,20	4,21 - 6,30	> 6,30
Mg (meq/100 g)	0,10 - 0,65	0,66 - 1,09	1,10 - 1,35	> 1,35
Al (meq/100 g)	> 1,24	1,10 - 1,24	0,06 - 1,00	< 0,05
M.O. total (%)	1,08 - 2,09	2,10 - 2,70	2,71 - 3,50	> 3,50

FONTE: Adaptado de SOSA (1994)

Verifica-se (tabela 1) que o nível de produtividade está diretamente relacionado ao aumento do nível dos elementos considerados na análise. Somente o Al não apresentou a mesma tendência. O resultado apresentou diferença estatística significativa, dos elementos nutritivos em relação aos níveis de rendimento, para M.O., N e Mg (P 0,01) do solo, e Zn, K e Mg (P 0,01) na planta.

SOSA (1994), determinou ainda os níveis dos elementos químicos em folhas de erva-mate em relação à produtividade. Os resultados da investigação estão na tabela 2.

TABELA 2 - NÍVEIS DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE

Elemento	Níveis de Produtividade		
	Baixo	Médio	Alto
N %	1,60 - 2,19	2,20 - 2,70	> 2,70
P %	0,10 - 0,14	0,15 - 0,18	> 0,18
K %	0,84 - 1,89	1,90 - 2,60	> 2,60
Ca %	0,19 - 0,37	0,38 - 0,55	> 0,55
Mg %	0,27 - 0,43	0,44 - 0,60	> 0,60
Al (ppm)	255 - 117	398 - 256	< 398
B (ppm)	43 - 22	73 - 44	> 73
Zn (ppm)	60 - 29	127 - 61	> 127
Fe (ppm)	60 - 15	100 - 61	> 100
Mn (ppm)	670 - 390	1.400 - 671	> 1.400

FONTE: Adaptado de SOSA (1994)

Em relação à época de adubação para erva-mate, SOSA (1994) recomenda os meses de agosto e setembro, com fertilizante orgânico e químico, respectivamente. O plantio de leguminosas de inverno pode compensar o empobrecimento das qualidades físicas e químicas do solo, em termos de suprimento de nitrogênio e matéria orgânica.

LASSERRE (1973), após pesquisa com fertilizantes químicos, efetuou diversas combinações entre os elementos essenciais, nitrogênio, fósforo e potássio em doses de 80 kg de N/ha, 75 kg de P₂O₅/ha e 80 kg de K₂O/ha. Os maiores rendimentos foram obtidos sempre na presença de N (Tabela 3).

TABELA 3 – RENDIMENTO OBTIDO EM ERVA-MATE APÓS ADUBAÇÃO DE N, P e K

Tratamento	kg/ha	Valor Relativo
N/P/K	9.479	176
N/P	7.735	143
N/K	7.615	141
P/K	7.358	136
Testemunha	5.390	100

Δ (5%) = 721 kg/ha

FONTE: LASERRE (1973)

Segundo resultados obtidos por BELLOTE & STURION (1985), em hidroponia, o N foi o elemento mais limitante à produção de matéria seca, vindo a seguir, em ordem decrescente: Ca, P, K, Mg, Zn, Cu, Fe.

REISSMANN *et al.* (1985), investigaram níveis de nutrientes nos diferentes tecidos de erva-mate, em ervais nativos, para avaliação das exportações de macronutrientes que ocorrem por ocasião da safra. Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos com as análises, em duas épocas distintas: julho, quando o nível dos nutrientes é relativamente estável e baixo, e em outubro, período de franco desenvolvimento que culmina na floração.

TABELA 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE NUTRIENTES NOS DIFERENTES TECIDOS DE ERVA-MATE (G/100G).

Elemento	Julho		Outubro		
	Folhas	Ramos	Folhas	Ramos	Flores
N (%)	1,92	1,01	2,20	1,21	2,67
P (%)	0,17	0,057	0,12	0,10	0,20
K (%)	1,59	0,98	1,86	1,70	3,71
Ca (%)	0,61	0,88	0,43	1,19	0,70
Mg (%)	0,42	0,34	0,33	0,23	0,37

FONTE: Adaptado de REISSMANN *et al.*, (1985).

Segundo REISSMANN *et al.* (1985), os suprimentos de N, K, Ca e Mg foram satisfatórios em relação ao estado nutricional quando comparado aos níveis de outras folhosas. Constataram baixos teores de P nas folhas e hastes, o que consideraram ser uma característica nutricional da espécie, e não um caso de deficiência.

Em relação às variações estacionais, observaram que N, P e K tiveram aumento considerável nas folhas até o mês de outubro (final da safra) coincidindo com a floração e brotação das folhas na primavera. No período de formação e maturação dos frutos, houve uma queda sensível e constante de fósforo, atingindo um mínimo em fevereiro. Os autores concluíram que muito do P concentrado nas folhas migra para os frutos neste período. Esta queda drástica, de 0,12% para 0,075% pode também significar real dificuldade em absorver P do substrato, uma vez que as análises químicas de solos acusaram níveis muito aquém dos satisfatórios. No período de baixa atividade fisiológica (outono/inverno), o N se manteve estável em 1,8% a 2,0% e o teor de Mg se manteve inalterado, em torno de 0,4%.

Quanto ao Ca, que atingiu um teor máximo de aproximadamente 0,7% em agosto, o autor verificou uma queda na primavera, variando sensivelmente no verão e outono. Analisando o Ca em relação ao K, verificaram um antagonismo entre os dois elementos. Considerando suas variações estacionais, o teor de K foi de 90% e 100% no verão e primavera, respectivamente, indicando sua maior participação durante o período de crescimento, enquanto o teor de Ca foi de 95% e 100% no outono e inverno, respectivamente.

Ainda na região de Mandirituba, os autores investigaram níveis foliares de micronutrientes e Al. Os resultados encontram-se na Tabela 5.

TABELA 5 - TEOR DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE, COLETADAS EM JULHO/83, EM CAMBISSOLO ÁLICO, NA REGIÃO DE MANDIRITUBA

	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Al
	mg.kg ⁻¹					
Folha	88 - 113	1600 - 2287	19 - 29	21 - 38	64 - 84	938 - 1050
Haste	38 - 50	600 - 825	19 - 24	40 - 75	24 - 42	250 - 325

FONTE: Adaptado de REISSMANN *et al.*, (1985).

A avaliação dos teores de macronutrientes exportados em dois períodos de safra distintos (julho e outubro), considerando média de 250 árv/ha e 700 árv/ha, resultou em maiores exportações de N, P e K em outubro, e de Ca e Mg em julho (Tabela 6).

TABELA 6 – MACRONUTRIENTES EXPORTADOS, POR OCASIÃO DA SAFRA DE ERVA-MATE, NOS MESES DE JULHO E OUTUBRO, RELATIVOS A POVOAMENTOS NATIVOS DE 250 E 700 árv/ha.

Elemento	Época	Exportações	
		Kg/ha/250 árv/safra	Kg/ha/700 árv/safra
N	Julho	54	150
	Outubro	61	172
P	Julho	3	7
	Outubro	4	10
K	Julho	45	127
	Outubro	58	163
Ca	Julho	21	60
	Outubro	19	56
Mg	Julho	13	35
	Outubro	10	28

FONTE: REISSMANN *et al.* (1985).

A avaliação dos teores de micronutrientes exportados foi realizada para a média de 250 árv/ha (Tabela 7).

TABELA 7 - TEOR DE MICRONUTRIENTES EXPORTADOS, POR OCASIÃO DA SAFRA DE ERVA-MATE, EM UMA POPULAÇÃO DE 250 árv/ha.

Fe	Mn	Cu	Zn	B
g/ha/250 árvores				
283	4.767	62	114	227

FONTE: Adaptado de REISSMANN *et al.*, (1985).

Nas condições estudadas, REISSMAN *et al.* (1985) ressaltaram que a erva-mate possui elevados níveis foliares de Mn, Cu e B. A espécie pode ser enquadrada como exigente em B, sendo recomendável o uso de técnicas de manejo, conservação de solo (matéria orgânica) e adubação para mantê-lo disponível no sistema. Os autores ainda recomendam medidas de adubação, tendo em vista a manutenção do equilíbrio químico.

CAMPOS (1991) estudou o balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de erva-mate na safra (colheita realizada nos meses de julho e agosto) e na safrinha (colheita nos meses de janeiro e fevereiro). As concentrações de N, P, K, Ca, e Mg na biomassa de erva-mate estão dentro da faixa de variação encontrada na maioria das folhosas. Os teores mais elevados são encontrados nas folhas, talos e cascas, para a maioria dos macronutrientes estudados, com exceção do Ca. A tendência dos elementos, exceto o K, foi de diminuir a concentração no período da safrinha. As estimativas dos elementos encontrados na biomassa total para povoamentos com idade de 9 e 12 anos, são apresentadas nas Tabelas 8 e 9.

TABELA 8 - QUANTIDADE DE N, P, K, Ca e Mg NA BIOMASSA DE POVOAMENTOS DE *Ilex paraguariensis* St. Hil. VALORES DA SAFRA

Idade	Peso de Matéria seca	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha	Kg/ha				
9 anos	13.898,62	151,74	11,09	98,20	58,18	35,69
12 anos	15.415,13	182,28	11,87	107,99	53,60	43,54

FONTE: Adaptado de CAMPOS (1991).

TABELA 9 - QUANTIDADE DE N, P, K, Ca e Mg NA BIOMASSA DE POVOAMENTOS DE *Ilex paraguariensis* St. Hil. VALORES DA SAFRINHA

Idade	Peso de Matéria seca	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha	Kg/ha				
9 anos	20.927,92	213,99	12,53	175,64	88,31	46,65
12 anos	22.981,04	244,88	16,85	199,08	91,73	60,65

FONTE: Adaptado de CAMPOS (1991).

O mesmo autor, comparando a distribuição percentual da biomassa com a alocação de nutrientes nos diversos componentes da árvore, verificou que a quantidade de nutrientes nas folhas é superior àquela existente na madeira. Concluiu que ao contrário da exploração madeireira, a qual deixa uma grande quantidade de resíduos com altos teores de nutrientes, a exploração da copa de erva-mate exporta uma grande percentagem da biomassa com maiores teores de nutrientes, deixando poucos resíduos com menores teores de nutrientes.

Segundo LAVIGNE (1985), é desnecessário a correção do solo, devido à tolerância da espécie aos altos teores de alumínio e à acidez. O autor conduziu um experimento aplicando diferentes níveis de calagem, com elevação da saturação de bases, para verificar a produção e níveis de Ca, Mg e Al em folhas de erva-mate em condições de campo. A partir de 50% de saturação de bases, a calagem não aumentou significativamente a concentração de Ca e Mg, e o Al não foi influenciado. Na análise da quantidade absorvida de Al, foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos, destacando-se a não calagem e a saturação máxima à 100%. Sem calagem observou-se maior ganho significativo na produção de matéria seca e altura.

REISSMANN & PREVEDELLO (1992), observaram correlações positivas entre o aumento da calagem e a concentração de K, Ca, Mg e Fe nos tecidos das folhas de mudas de erva-mate sob condições de casa de vegetação. Constataram baixos níveis de P, o que parece ser característica da espécie. Verificaram também que doses crescentes de calcário promovem a redução no crescimento de erva-mate e chamaram atenção para os baixos níveis de Cu e altos de Zn que ultrapassaram o nível de 100 ppm. Segundo os autores, a erva-mate pode ser uma espécie pouco

Fe-eficiente (espécies que se desenvolvem em solos alcalinos sem apresentar clorose férrica), diante dos sintomas de clorose nas folhas mais novas.

RADOMSKI *et al.* (1992) analisaram os teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de árvores nativas de erva-mate sobre solos ácidos em São João do Triunfo (PR) e encontraram níveis foliares satisfatórios de N, K, Ca, Mg, Fe e Zn; teores elevados de Cu (14 a 32 ppm) em folhas jovens e altos teores de Al (591 a 847 ppm) e Mn (1371 a 1980 ppm) em folhas velhas. Os altos níveis foliares de Al e Mn sugerem que a erva-mate possa ser uma espécie tolerante às condições de toxidez desses elementos.

BELLOTE & STURION (1983), observaram sintomas de deficiência de Fe através de clorose internerval nas folhas mais novas de plantas de erva-mate e enfatizaram ser a planta uma ótima indicadora da falta de Fe no solo.

A adubação de plantio de erva-mate, segundo a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO PARA OS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA (1994), deve ser aplicada na cova ou no sulco de plantio, na instalação do povoamento. As quantidades recomendadas seguem as seguintes premissas:

- a adubação nitrogenada é recomendada baseando-se no teor de matéria orgânica existente no solo (Tabela 10);
- a adubação fosfatada e potássica baseiam-se na interpretação do P e K obtidos através de análise do solo (Tabela 11).

TABELA 10 - RECOMENDAÇÃO DE N NA ADUBAÇÃO DE ERVA-MATE

Teor de M.O. (%)	Nitrogênio (kg/ha)
≤ 2,5	60
2,6 a 5,0	40
> 5,0	≤ 20

FONTE: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC, 1994

TABELA 11 - RECOMENDAÇÃO DE P e K NA ADUBAÇÃO DE ERVA-MATE

Teor no solo	Quantidade de Adubo a ser Aplicado	
	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Limitante	130	50
Muito Baixo	90	40
Baixo	60	30
Médio	40	20
Suficiente	20	10
Alto	≤ 20	≤ 10

FONTE: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC, 1994

A adubação de reposição é indicada para suprir os nutrientes exportados pela exploração florestal, devendo ser aplicada após a colheita. Segundo a recomendação da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO PARA RS/SC (1994), a adubação fosfatada de reposição deve ser feita na dosagem máxima de 120 kg P₂O₅/ha, quando o teor de P no solo for alto; e na reposição de K deve ser aplicado 60 kg K₂O/ha ou menos quando o K no solo for alto. A calagem não é recomendada para a cultura de erva-mate, pela sua adaptação a condições de acidez do solo.

FOSSATI (1997), analisou níveis foliares de elementos nutrientes e alumínio na erva-mate, em função do sítio e em função do sexo. Observou que à medida que diminuíram os valores de pH e a saturação por bases do solo, aumentaram a altura total, a altura da copa e área de projeção da copa. A mesma relação foi observada entre Ca, Mg e Mn do solo com altura total e da copa. O N foliar correlacionou-se positivamente com os parâmetros de produtividade, ou seja, em sítios com baixos níveis de N, ocorreram plantas com menor altura total e da copa. Os baixos teores de P foliar não influenciaram as variáveis de produtividade, e não foram constatados sintomas de deficiências, fato que confirma a suspeita de tratar-se de uma característica da espécie (REISSMANN *et al.*, 1985). No mesmo experimento, as plantas apresentaram alta tolerância ao acúmulo de Al nas folhas. Com relação aos requerimentos nutricionais para plantas masculinas e femininas, o autor observou maiores teores de Cu nas plantas masculinas e maiores teores de B para as femininas, não constatando diferenças com relação ao N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Al.

LOURENÇO *et al.* (1997), avaliaram a influência do N sobre a produção de erva-mate em Latossolo Vermelho Escuro no município de Fernandes Pinheiro/PR. Foram testados 5 tratamentos e a testemunha, conforme especificado na Tabela 12.

TABELA 12 - TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA, TESTADOS EM ERVA-MATE

Fonte de Nitrogênio	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Uréia (g/planta)	0	75	150	225		150*
Sulfato de Amônio (g/planta)					323	

*Utilização de palitos como cobertura.

FONTES: LOURENÇO *et al.*, (1997)

Considerando a produtividade das erveiras em três safras com intervalos de um ano e meio, LOURENÇO *et al.* (1997) concluíram que a utilização da cobertura morta é altamente recomendável, mas a adubação nitrogenada somente deve ser utilizada nos solos de textura média, sendo indiferente a utilização de uréia ou de sulfato de amônio.

Em outro experimento, LOURENÇO *et al.* (1997), avaliaram níveis de potássio sobre a produção de erva-mate no município de Ivaí/PR. A adubação foi realizada anualmente, dividida em duas aplicações. Em três colheitas efetuadas, observou-se uma tendência de aumento na produtividade em função das adições de KCl (Tabela 13). Ocorreram diferenças estatisticamente significativas apenas no tratamento com a cobertura morta (além das adubações de base com N e P).

TABELA 13 - TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA TESTADOS EM ERVA-MATE

Fonte de Potássio	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
KCl (g/planta)	0	22,5	45,0	64,5	90,0	* CM

*CM = cobertura (palhada da roçagem das entrelinhas)

FONTES: LOURENÇO *et al.*, (1997)

LOURENÇO *et al.* (2000), apresentaram os resultados de produtividade de erva-mate, após aplicação de adubo NPK 20-5-20 em diferentes dosagens, no município de Áurea/RS. Em relação às produções obtidas, após dois anos, os

melhores resultados foram para a dosagem de 340 g de adubo por planta. Usando a mesma fórmula de adubo (20-5-20), em erval com 5 anos de idade, o resultado da análise de variância dos dados de produção de massa foliar, detectou diferença significativa em nível de 1%, para o 1º e 2º ano de colheita, entre a testemunha e tratamento onde se aplicou 500 g/planta do adubo.

Em estudo sobre efeito de cobertura morta na produtividade de erva-mate, LOURENÇO *et al.* (2000), observaram que na ausência de adubação, as erveiras responderam positivamente ao tratamento com cobertura morta usando palitos (resíduos do beneficiamento da erva-mate). A adição de palitos constituiu-se no melhor tratamento para produtividade das erveiras com até quatro anos e meio, consideradas as podas anuais. Os autores não fazem referência à possível influência do uso de cobertura morta sobre as propriedades físicas e químicas do solo.

WISNIEWSKI *et al.* (1996), observaram que a quantidade de nutrientes exportados foram diretamente proporcionais à biomassa podada, em uma investigação sobre a exportação de nutrientes com a primeira poda de formação da erva-mate, aos dois anos de idade, em cordões vegetados na região de Pinhais/PR. Concluíram que o elemento exportado em maior quantidade, considerando valores médios para árvores pequenas e grandes, foi o N (578,8 g/ha), seguido do K (333,3 g/ha), Mg (222,2 g/ha), Ca (200,0 g/ha) e P (77,8 g/ha). Observaram também a ocorrência de antagonismo entre K e Mg.

WISNIEWSKI *et al.* (1996) também investigaram a exportação de nutrientes com a segunda poda de formação da erva-mate, no terceiro ano de plantio, em cordões vegetados em Cambissolo álico, na região de Irati/PR. Como no experimento anterior, observaram antagonismo entre K e Mg. Os teores de P foram relativamente altos para a espécie, e os de Mn e Al, indicam que a espécie é acumuladora destes elementos. A concentração de todos os nutrientes, com exceção do Zn e Cu foi maior nas folhas do que nos galhos. As exportações aumentaram com a idade do erval.

PANDOLFO *et al.* (2000), verificaram o rendimento da erva-mate quanto à aplicação de nitrogênio, fósforo, potássio mineral e esterco de aves. Os resultados obtidos revelaram resposta da cultura ao N, K e esterco de aves, entretanto não houve resposta ao P. A análise de regressão entre a massa verde de erva-mate,

acumulada em 4 anos e as doses de esterco de aves aplicadas foi linear e significativa ao nível de 5% ($R^2=0,9766$). A partir da produção acumulada de 15 kg de massa verde, para cada 1 kg de esterco de aves (base seca) adicionado ao solo, houve um aumento de 3,1 kg de massa verde de erva-mate dentro da faixa analisada.

Na produção de mudas, poucos experimentos de adubação foram realizados com espécies nativas. Em avaliação do efeito de doses crescentes de N e K em mudas de *Acacia mangium* Willd, DIAS *et al.* (1991) observaram que as plantas responderam positivamente a adição de N ao solo de plantio, recomendando a dose de 100 ppm para formação de mudas de acácia. Houve resposta negativa para as variáveis diâmetro e matéria seca foliar, à adição de K no solo. Equações ajustadas para a produção de matéria seca, em função das diferentes doses de K, mostram tendência de decréscimo de produção com o aumento das doses até atingir um limite onde a produção não se altera.

De maneira geral, a literatura tem mostrado que para algumas espécies florestais, nativas ou exóticas, o nível crítico de K aplicado para mudas tem sido inferior a 50 ppm. DIAS *et al.* (1991) obtiveram para taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Voguel), um valor de 27,4 ppm. Já para mudas de *Eucalyptus grandis*, foram encontrados valores de nível crítico da ordem de 7 a 10 ppm de K (BARROS *et al.*, 1981).

GARRIDO (1976) pesquisou a eficiência de adubos orgânicos concentrados na produção de mudas florestais (*Eucalyptus citriodora* Hook), e comprovou que o adubo orgânico aplicado na produção das mudas em concentrações ótimas pode duplicar a altura das mudas, em relação à testemunha.

GOMES *et al.* (1991), testaram diferentes combinações de substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. Maiores valores de altura e melhor qualidade foram observados na mistura de composto orgânico (80%) e moinha de carvão (20%). De todos os tratamentos testados observaram que melhores resultados foram obtidos quando o composto orgânico era dominante na mistura.

LOURENÇO *et al.* (1999), observaram, em ensaio realizado com mudas de erva-mate, produzidas a partir de vários substratos, que o esterco de bovino foi superior a todos os outros, tendo como dose ótima a proporção 1:3 (200 cm³ de

esterco para cada 600 cm³ de terra de superfície), que propiciou a maior produção de matéria seca nas mudas.

2.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA E FERTILIDADE

Um dos fatores mais importantes para obtenção de um erval produtivo está diretamente relacionado com a reposição dos nutrientes exportados por ocasião da poda, com objetivo de manter o equilíbrio entre a produção e a fertilidade do solo. Realizar esta reposição de forma eficaz e com baixo custo, é objeto de discussões em relação à erva-mate. Em ervais nativos, a deposição de serrapilheira e restos vegetais é muito alta, conferindo equilíbrio dinâmico à fertilidade do solo.

A utilização de fertilizantes químicos possui dosagens de nutrientes que são mais facilmente quantificados. Por outro lado, adubos orgânicos têm efeito de amplo espectro, agindo também nos mecanismos físicos e biológicos do solo, sem agressão ao meio ambiente (COSTA, 1994). A matéria orgânica exerce efeitos benéficos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (KIEHL, 1985; TISDALE & NELSON, 1993). Segundo PRIMAVESI (1991), a adubação mineral, por mais completa que seja, nunca consegue manter a produtividade do solo, quer o clima seja temperado ou tropical, sem que exista o retorno sistemático e dirigido da matéria orgânica.

A matéria orgânica é fonte de energia para a vida heterotrófica dos solos; é o maior reservatório e fonte de N, P, S e outros nutrientes; influi no pH e CTC (PICOLLO, 1996).

A incorporação de resíduos de plantas ou animais ao solo, em condições de umidade e aeração favoráveis e se houver a presença de microorganismos, resulta em um processo de decomposição. Como resultado dessa intensa digestão da matéria orgânica, haverá liberação de elementos químicos, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, os quais deixam a forma orgânica imobilizada e passam à forma mineralizada, disponível às plantas (KIEHL, 1985; PRITCHETT & FISHER, 1987).

2.3.1. Influência nas Propriedades Físicas e Nutricionais do Solo

Segundo BUCKMAN & BRADY (1983), os principais efeitos benéficos da matéria orgânica sobre as propriedades físicas e químicas do solo podem ser:

1. Influência sobre as propriedades físicas:
 - a. Auxilia a granulação;
 - b. Reduz a plasticidade, a coesão;
 - c. Aumenta a capacidade de retenção da água;
2. Elevada capacidade de adsorção de cátions:
 - a. De duas a trinta vezes maior que a dos colóides minerais;
 - b. Responsável por 30 a 90% do poder de adsorção dos solos minerais;
3. Suprimento e assimilabilidade de nutrientes:
 - a. Presença de cátions facilmente permutáveis;
 - b. Nitrogênio, fósforo e enxofre retidos sob forma orgânica;
 - c. Extração de elementos provenientes dos minerais por humo ácido.

Em termos de propriedades físicas, a matéria orgânica torna os solos mais soltos ou atua como agente cimentante na sua estruturação. A presença de matéria orgânica corrige a falta ou o excesso de aeração e drenagem, aumenta a capacidade de infiltração e retenção de água, e é importante como tampão nas mudanças bruscas na acidez, alcalinidade e salinidade (KIEHL, 1985; TISDALE & NELSON, 1993).

Além dos efeitos sobre as propriedades físicas, a matéria orgânica é importante fonte de nutrientes para o solo, principalmente nitrogênio, fósforo, enxofre e micronutrientes (KIEHL, 1985; TISDALE & NELSON, 1993).

As principais fontes de macro e micronutrientes para as plantas são os minerais e a matéria orgânica; e a separação entre macro e micronutrientes baseia-se apenas na concentração em que o elemento aparece na matéria seca.

2.3.1.1. Macronutrientes

- Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento crítico na maioria dos ecossistemas florestais (PRITCHETT & FISHER, 1987).

A única maneira de se armazenar nitrogênio no solo é na forma orgânica. O N dos fertilizantes minerais é facilmente lavado e se perde nas camadas mais profundas do perfil do solo. Quando se faz análise química de amostras de solo, verifica-se que 98 a 100% do nitrogênio está na forma orgânica. Com base no teor de matéria orgânica pode ser calculado o teor de N total, que representa 5% da M.O. (BUCKMAN e BRADY, 1983; KIEHL, 1985). O nitrogênio orgânico existente no solo não é absorvido desta forma pelas raízes das plantas. Para se tornar assimilável, é necessário que, através da fermentação e decomposição, e sob a ação de microorganismos, o nitrogênio passe para a forma amoniacal, depois para nitrito, e finalmente para nitrato; os nitritos (NO_2) são tóxicos às plantas, porém de uma forma transitória, não chegando a causar danos. A matéria orgânica fornece um suprimento constante de nitrogênio para as plantas e também relativamente mais estável, as formas minerais: amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-), estão sujeitas a perdas por volatilização ou por lavagem, respectivamente (KIEHL, 1985, 1993).

O nitrogênio regula a velocidade de decomposição da matéria orgânica e a atividade microbiana. Se o material energético (celulósico), na forma de matéria orgânica ativa e capaz de estimular a atividade microbiana, contiver menos de 1,2% de nitrogênio e uma relação carbono/nitrogênio alta, pode-se esperar que a imobilização do nitrogênio mineral do solo será maior que a sua mineralização, e o processo de decomposição será lento. Quando o nitrogênio é insuficiente, os microorganismos usam o nitrato ou a amônia presentes no solo para formar proteínas necessárias ao seu desenvolvimento, e conseqüentemente, a produção de húmus será menor (KIEHL, 1985).

- Fósforo

A matéria orgânica contém, geralmente, de 15 a 80% do fósforo total encontrado no solo. A relação entre carbono, nitrogênio e fósforo orgânico (C:N:P) nos solos minerais é em média 100:10:1, sendo que a razão nitrogênio para fósforo

orgânico aumenta com o pH. Geralmente, em adubações minerais, costuma-se aplicar quatro vezes mais fósforo na forma de fertilizante do que a planta vai absorver. No entanto, a pequena disponibilidade de fósforo mineral que se verifica, se deve a fenômenos de fixação. Em presença de matéria orgânica, uma grande proporção de P no solo é retido em combinações orgânicas, e posteriormente mineralizado pela atividade microbiana, tornando-se disponível para as plantas (BUCKMAN e BRADY, 1983).

O índice pH, a reação entre os íons fosfato e os de cálcio, magnésio, manganês, os sesquióxidos de ferro e alumínio, certos minerais de argila ricos nesses elementos e a presença de microorganismos, são fatores responsáveis pela maior ou menor quantidade de fósforo no solo. Certos produtos da decomposição orgânica, formam complexos em associações com Fe e Al, os ânions orgânicos resultam em $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (hidróxido de ferro) com o ferro, e $\text{Al}(\text{OH})_2$ (hidróxido de alumínio) com o alumínio, que são complexos imóveis e não mais poderão precipitar os fosfatos da solução do solo (KIEHL, 1985; BUCKMAN & BRADY, 1983).

Segundo TISDALE & NELSON (1993), o mecanismo de aumento da solubilidade do fósforo na presença de húmus pode ser explicado pelos seguintes fatores:

- a) formação de complexos fosfo-húmicos, facilmente assimiláveis pelas plantas;
- b) troca iônica do fosfato pelo íon humato;
- c) revestimento da partícula de sesquióxido pelo húmus, formando uma proteção que reduz a capacidade do solo de fixar P.

- Potássio

O potássio não participa de combinações orgânicas na planta, está na forma livre, por isso, prontamente liberado para o solo quando restos vegetais são a ele incorporados. O potássio encontra-se no solo adsorvido eletrostaticamente à matéria orgânica e inorgânica. O húmus e os ácidos húmicos retêm fortemente certos cátions metálicos, prevenindo perdas por lavagem ou por fixação por minerais de argila (BUCKMAN e BRADY, 1983, EPSTEIN, 1972; KIEHL, 1985).

O aproveitamento do K solúvel pelas raízes está intimamente ligado com a CTC do solo. No caso de solo ácido, a maior parte das cargas negativas está ocupada por H^+ e Al^{+3} , que não são facilmente deslocadas pelo K (KIEHL, 1993).

- Cálcio e Magnésio

Cálcio e magnésio – elevados teores de húmus no solo garantem o suprimento de Ca e Mg às raízes, tendo em vista que estes elementos são adsorvidos pelos colóides inorgânicos e orgânicos. Considerando-se que a capacidade do húmus de adsorver esses nutrientes é cerca de 30 vezes maior que a capacidade de troca catiônica da caulinita, mineral de argila que predomina nos solos brasileiros, compreende-se a importância da M.O. como fonte de cálcio e magnésio. (BUCKMAN e BRADY, 1983; EPSTEIN, 1972; KIEHL, 1985).

2.3.1.2. Micronutrientes

Através de reações de troca ou de mecanismos de complexação ou de quelação, o húmus pode reter em formas disponíveis certos micronutrientes liberados dos minerais do solo ou da matéria orgânica em decomposição. Quelação vem a ser o equilíbrio entre um íon metálico como o Fe, Zn, Cu ou Mn, e o agente complexante, caracterizado pela formação de mais de uma ligação entre o metal e a molécula do agente complexante; como consequência, resulta a formação de uma estrutura em anel, incorporando o íon metálico, porém, sem que ele realmente tome parte na composição química do agente complexante. Os quelados são excelentes fontes de micronutrientes disponíveis no sistema biológico (BUCKMAN & BRADY, 1983; KIEHL, 1985; SALISBURY & ROSS, 1991). A matéria orgânica tem radicais carboxilas (COOH) e hidroxilas (OH), os quais são responsáveis pelos complexos de quelação (KIEHL, 1985, SALISBURY & ROSS, 1991). Por exemplo, a presença de complexos e quelatos com Fe e Al não permitem a fixação do fosfato solúvel (KIEHL, 1985).

A matéria orgânica pode contribuir para o fornecimento de Fe através da adição do elemento contido na sua composição, redução da forma férrica Fe^{3+} para a ferrosa Fe^{2+} , ação de microorganismos, pela formação de quelato de ferro ou pela adsorção do cátion ferro (KIEHL, 1985; SALISBURY & ROSS, 1991).

O Cu pode ser encontrado fortemente fixado a M.O. através de formação de complexos e quelados de Cu com ligno-proteínas e humatos. Como acontece com o Cu, o Mn também é adsorvido fortemente pela M.O., formando complexos insolúveis e estáveis. O teor de Mn no solo é inversamente proporcional ao teor de Fe, sendo que quanto maior o conteúdo de um, ocorre a deficiência do outro. A toxidez do Mn pode ser controlada pela cobertura morta ou “mulch”, a qual protege o solo evitando perdas de água, aumentando a concentração de hidróxidos, primeiro passo para a fixação do Mn (KIEHL, 1985; SALISBURY & ROSS, 1991). A formação de complexos com matéria orgânica pode melhorar o fornecimento de alguns nutrientes, tornando-os disponíveis à medida que a planta deles necessite.

O Zn é absorvido pelas plantas nas formas de íon zinco (Zn^{2+}) ou como quelato de Zn. A matéria orgânica é a principal fonte de B para as plantas (KIEHL, 1985; SALISBURY & ROSS, 1991).

O benefício da aplicação de micronutrientes na época do plantio, tem efeito prolongado no crescimento das árvores. Deficiências de micronutrientes têm sido associadas quase que completamente às florestas plantadas, sendo raramente encontradas em florestas naturais (PRITCHETT & FISHER, 1987).

2.3.2. Influência nas Propriedades Físico-Químicas do Solo

Considerando a relação solo e matéria orgânica, as propriedades físico-químicas mais importantes são a adsorção de íons e capacidade de troca catiônica.

Argila e húmus são dois colóides eletronegativos que têm a habilidade de adsorver cátions existentes na solução do solo (retenção eletrostática), podendo depois cedê-los às raízes. Pode, ainda, efetuar trocas, resultando na propriedade chamada de capacidade de troca catiônica, representada pelas letras CTC. A CTC da matéria orgânica tem sua origem nas cargas negativas oriundas dos grupos carboxílicos e fenólicos; tais grupos apresentam um átomo de hidrogênio dissociável ligado ao oxigênio; as cargas negativas podem ser ocupadas por outros cátions como o cálcio, o magnésio e o potássio (BUCKMAN & BRADY, 1983; RAIJ, 1991; KIEHL, 1985).

O grau de dissociação depende do pH do meio, ou seja, um solo rico em matéria orgânica terá alta CTC total, mas sendo ácido, poderá ter baixa CTC efetiva (aquela ocupada por cátions efetivamente trocáveis como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+}) (TOMÉ JR., 1997).

Em relação aos colóides inorgânicos do solo, a CTC do húmus varia de 200 a 400 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, e a CTC da caulinita, argila que ocorre na maioria dos solos brasileiros, varia de 3 a 15 cmol_c (CTC efetiva)/ dm^3 , cerca de 30 vezes menos que a do húmus (TOMÉ JR., 1997). PRATA *et al.* (1996), estudando solos do Estado do Paraná, verificaram que a matéria orgânica contribuiu em média com 49,3% da CTC dos solos estudados, sendo de 29,6% nos solos argilosos e 76,1% nos arenosos.

A CTC da matéria orgânica e conseqüentemente do solo, eleva-se com o aumento da superfície específica, crescendo, também, a capacidade de adsorção de nutrientes e a do fornecimento destes às plantas (BUCKMAN & BRADY, 1983; KIEHL, 1985).

2.3.3. Vermicompostagem

Vermicompostagem é o nome dado à tecnologia que utiliza minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação. As minhocas são vermes anelídeos, classificadas como oligoquetos terrestres. A minhoca ingere e digere os resíduos orgânicos dejetando excrementos com forma especial, constituídos de agregados de terra e matéria orgânica, os quais recebem o nome de coprólitos. O material dejetado encontra-se em estado mais avançado de decomposição, sendo de assimilação mais fácil pelas raízes; a reação dos coprólitos é sempre mais neutra do que a dos solos originais. Os dejetos são pobres em argila e ricos em matéria orgânica, nitratos, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, apresentando alta CTC, alta saturação em bases (V%), e elevada umidade equivalente (TIBAU, 1986).

O tubo digestivo das minhocas se transforma em verdadeira fábrica de húmus, que é enriquecido por nutrientes tornados assimiláveis, além de neutralizado por suas glândulas calcíferas (TIBAU, 1986).

Segundo KIEHL (1985) as minhocas são os animais mais importantes no tocante à agregação dos solos, ingerem, além de resíduos vegetais, certa porção de terra para auxiliar a digestão. Seus dejetos são ricos em nutrientes, possuem elevada capacidade de troca catiônica e são resistentes à desagregação pela água.

A matéria orgânica humificada ou estabilizada não está mais sujeita a decomposições intensas, se comparada com resíduos frescos. A fração húmica, coloidal, age principalmente sobre as propriedades físicas e químicas do solo: melhora a porosidade e evita erosão do solo; desagrega solos argilosos e agrega arenosos; não confere salinidade ao solo; acelera o processo de umidificação dos resíduos orgânicos, aumentando a atividade biológica do solo (BUCKMAN & BRADY, 1983; KIEHL, 1985).

A fração não húmica, ativa, que está em decomposição, é a principal fornecedora de nutrientes. As substâncias minerais contidas no húmus são disponibilizadas de forma lenta e constante para as plantas. O teor de carbono do húmus está relacionado com o existente nos tecidos vegetais, animais e microbianos que contribuíram para sua formação. O teor médio dos elementos químicos do húmus é o seguinte: carbono 52%; oxigênio 33%; hidrogênio 5%; nitrogênio 5% e cinzas (minerais) 5% (BUCKMAN & BRADY, 1983).

2.4. COMPONENTES QUÍMICOS

As investigações químicas relativas à erva-mate iniciaram-se por Trommsdrff, em 1836, constatando a presença de diversas substâncias resinosas, matéria corante amarelo e ácido tânico. Porém, a identificação de seu principal alcalóide, a cafeína, ocorreu em 1845, por Stenhouse (ROLIN, 1920; VALDUGA, 1995).

Em análise realizada no mate do Paraná, foram obtidos 2,02% de cafeína e 11,22% de taninos, além de outros componentes, sendo o mate do Paraná considerado de maior eficácia como agente medicamentoso, pela sua grande riqueza em cafeína (ROLIN, 1920).

Atribui-se ao mate uma infinidade de propriedades fisiológicas. Com vitamina B, o mate participa do aproveitamento do açúcar nos músculos, nervos e atividade cerebral do homem; com vitaminas C e E, age como defesa orgânica e como benefício sobre os tecidos do organismo; sais minerais em conjunto com a cafeína ajudam o trabalho cardíaco e a circulação do sangue, diminuindo a tensão arterial, atua como vasodilatador (TORQUES & ANDROCZEVECZ, 1997). Ainda pode suprimir a sensação de fome.

A erva-mate possui vários componentes químicos de relevante valor qualitativo, no entanto, neste trabalho, optou-se pela investigação de cafeína e taninos. A cafeína assume destaque por suas propriedades farmacológicas, e boa parte das ações fisiológicas atribuídas à erva-mate deve-se à presença da cafeína, além de ser um dos produtos de referência no enquadramento do mate na Portaria 234/98 (0,5%).

O papel dos taninos ainda não é esclarecido, sabe-se que está relacionado com mecanismos de defesa da planta. Em relação aos produtos obtidos de erva-mate, é um constituinte que lhe confere sabor amargo, sendo importante a identificação dos fatores que podem alterar seus teores.

2.4.1. Alcalóides

A despeito das dificuldades de uma definição precisa, o termo alcalóides é muito usado e comumente aplicado por compostos orgânicos nitrogenados de plantas que são ativas fisiologicamente. Usualmente contém um átomo de N que pode existir como amina primária (RNH_2), amina secundária (R_2NH) ou terciária (R_3N) (TYLER *et al.*, 1988).

Com freqüência são denominados xantinas. A cafeína é a 1,3,7-trimetil-xantina, a teofilina é a 1,3-dimetil-xantina e a teobromina é a 3,7-dimetil-xantina (⁸COSTA, 1972 citado por VALDUGA, 1995).

VERONESE (1944) identificou como constituintes da erva-mate os seguintes compostos: água, celulose, gomas, dextrina, mucilagem, glicose, pentose, substâncias graxas, resina aromática, legumina, albumina, cafeína, teofilina,

⁸ COSTA, A.F. Farmacognosia. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 3Ed., v.2, 1972.

cafearina, cafamarina, ácido matetânico, ácido fólico, ácido caféico, ácido virídico, clorofila, colessterina e óleo essencial. Outros autores referem à presença de cafeína e teobromina em erva-mate (BUHRER, 1946; 9PAULA, 1956; citado por VALDUGA, 1995; CORREIA, 1958; REGINATTO *et al*, 1999).

A cafeína, teofilina e teobromina são três alcalóides, estreitamente relacionados, encontrados na erva-mate e são os compostos mais interessantes sob o ponto de vista farmacológico e terapêutico. Alcalóides são responsáveis pelas propriedades estimulantes do mate. A cafeína tem efeito sobre o sistema nervoso central, acelera entrada de oxigênio nos pulmões, aumenta a velocidade do metabolismo, acelera o batimento cardíaco e o pulso (LEITE, 1999). ETENG *et al* (1997) relata que a cafeína tem efeitos estimulatórios sobre o cérebro, coração, secreções gástricas e diurese.

De acordo com a NTA 46, do Código Sanitário de São Paulo, o teor mínimo de cafeína permitido para o produto mate é de 0,7%. O Ministério da Saúde, através da Portaria 234, de 25/03/1998, no Regulamento Técnico para fixação de identidade e qualidade para erva-mate – chimarrão, fixa o teor mínimo de cafeína em 0,5 g/100 g.

A cafeína é a droga mais amplamente utilizada em todo o mundo, presente em vários tipos de bebidas e medicamentos. Dentre as bebidas mais consumidas, que possuem cafeína, estão o café (*Coffea arabica*), o chá (*Camelia sinensis*), o chocolate (*Theobroma cacao*), o mate (*Ilex paraguariensis*) e a cola (*Cola acuminata*).

Um caminho para a biossíntese de cafeína, teobromina e teofilina, é apresentada na Figura 3, através de 1,3-N-methyltransferase e 2,1-N-methyltransferase.

⁹ PAULA, R.D. de G. Alcalóides no mate. Bol. Inst. Nac. Tecn., v.7, n.15, p 3-7, 1956.

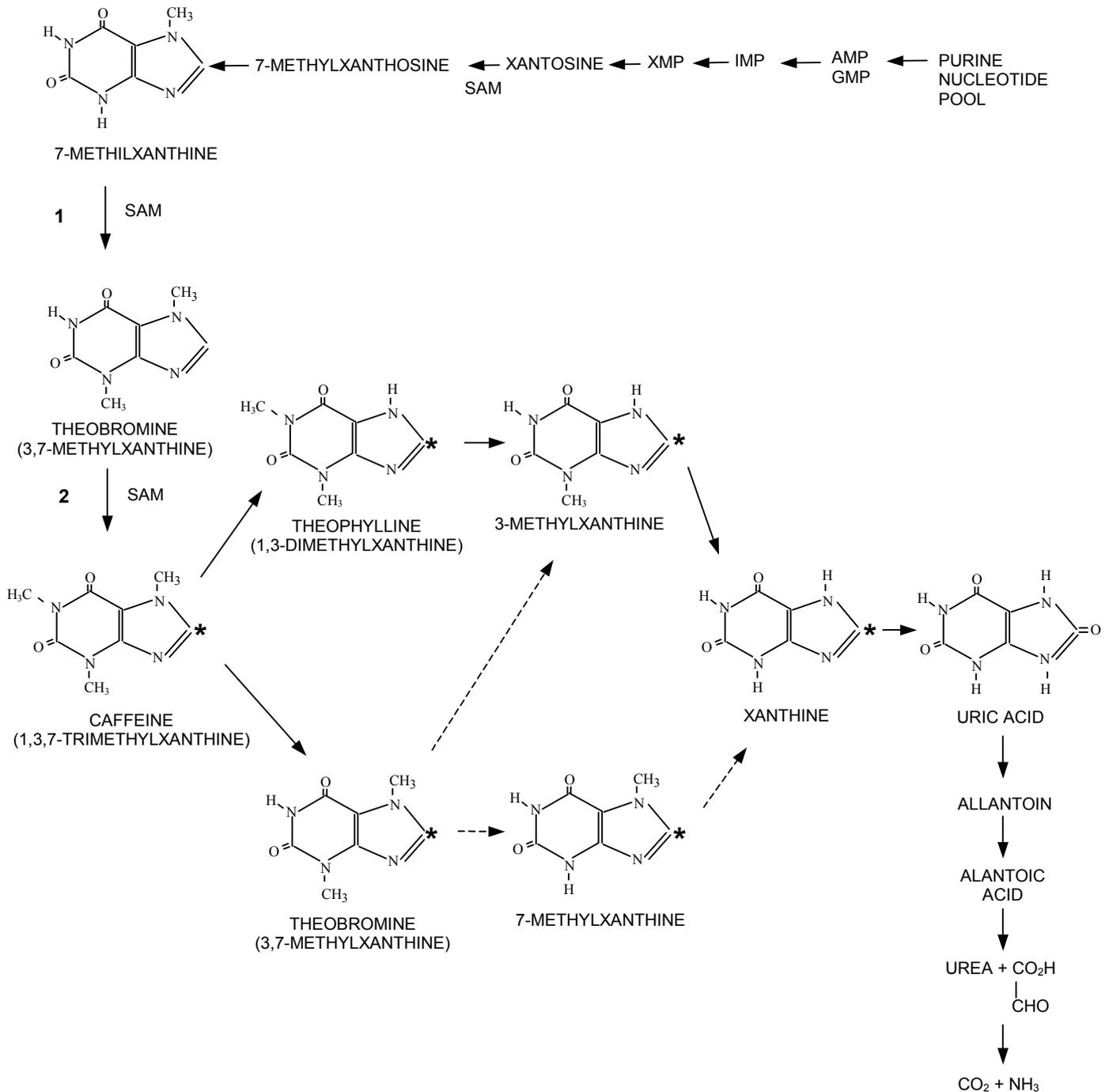


FIGURA 3 - ESQUEMA DA BIOSÍNTESE E BIODEGRADAÇÃO DE CAFEÍNA, TEOBROMINA E TEOFILINA EM CAFÉ: 1,3-N-METHYLTRANSFERASE; 2,1-N-METHYLTRANSFERASE; *H-LABEL NA MOLÉCULA DE CAFEÍNA.

Fonte: Adaptado de MAZZAFERA *et al.* (1994).

A biossíntese da cafeína, segundo resultados obtidos por ASHIHARA (1993) em folhas jovens de erva-mate, parte do metabolismo da purina, e segue o caminho proposto para plantas de café (*Coffea* sp) e chá (*Camelia sinensis*).

De acordo com o esquema apresentado na figura 3, a degradação da cafeína em folhas de café é apresentada conforme a seqüência: Cafeína > teofilina (1,3-dimethylxantina) > 3-dimethylxantina > xantina > ácido úrico > alantoína > ácido alantóico > uréia e ácido glicoxílico > NH₃ + CO₂ (MAZZAFERA *et al.*, 1994).

A riqueza relativa em alcalóides, varia com a idade da folha, diminuindo com o aumento desta; assim, em amostras de erva-mate de quatro estágios de desenvolvimento (folhas novas, mais desenvolvidas, com aproximadamente 1 ano e com 3 anos ou mais), de uma mesma árvore, foram encontrados teores médios de cafeína de 2,39; 2,05; 1,60 e 0,68%, respectivamente (PAULA, 1968). BERTONI *et al.* (1992), ressaltam que o tipo de solo, idade da planta, data de coleta e características climáticas, influenciam significativamente na composição química da erva-mate.

Teores de cafeína obtidos por VALDUGA (1995), proveniente de erval plantado com oito anos de idade, a céu aberto, variaram de 0,82 à 1,38%.

TORQUES & ANDROCZEVECZ (1997), encontraram um teor médio de 1,67% de alcalóides em folhas colhidas e secas ao ar, e 0,55% em produto de primeira qualidade, existente no mercado.

A cafeína contida nos tecidos de plantas de erva-mate pode estar associada com uma total atividade celular, em tecidos novos, ou em aqueles com alta atividade metabólica (flores, frutos e desenvolvimento de folhas) que podem apresentar alto conteúdo de cafeína, quando comparados a plantas adultas ou tecidos maduros (ASHIHARA, 1993). MAZZAFERA (1994), encontrou a mesma tendência e observou maiores níveis de cafeína em folhas jovens (0,91%) e frutos imaturos (0,038%), em relação a folhas velhas (0,54%) e frutos maduros (0,013%); folhas jovens de plantas parcialmente sombreadas (0,89%) apresentaram maiores teores de cafeína quando comparadas com folhas jovens de plantas a pleno sol (0,77%). Enquanto a razão entre methylxantinas de folhas novas e velhas em plantas a pleno sol foi de 5,8 e 15,8, respectivamente, em folhas novas e velhas de plantas parcialmente sombreadas, variou de 3,4 - 3,7 e 1,7 - 1,9 respectivamente.

COELHO *et al.* (2000), em um estudo de plantas sob diferentes graus de sombreamento artificial em mudas medindo 0% e 50% de sombreamento, observaram uma variação de cafeína de 2,63 a 2,98 mg/g, e em condições naturais medindo 7,17% e 95,33% de sombreamento, verificaram variação de 2,31 a 14,31 mg/g de cafeína, respectivamente.

Os teores de cafeína apresentaram uma oscilação de 0,19 g/100g a 1,46 g/100g de erva-mate, segundo investigações feitas por DA CROCE (2000), em amostras coletadas em quatro grandes regiões de ocorrência no Estado de Santa Catarina. Os resultados analisados não apresentaram diferença significativa no teor de cafeína com relação ao tipo de solo dos locais de coleta das amostras, mas apresentaram diferença significativa em relação aos meses de coleta. Maiores teores foram obtidos nos meses de fevereiro e março, período de intensa atividade vegetativa, e caíram nos meses de julho a setembro, que coincide com a época tradicional de safra.

O efeito da fertilização nitrogenada sobre produção de alcalóides tem sido objeto de muitas pesquisas. A cafeína possui 4 átomos de N, quase 29% da molécula, e uma relação C/N=2. Em chá foi observado que durante o ano o teor de cafeína variava em função do nível de nitrogênio na planta (CLOUGHLEY, 1982). Em café, a relação cafeína-nitrogênio também foi observada (BEAUDIN-DUFOUR & MULLER, 1971).

Existe uma suposição de que, sob condições de alta demanda de nitrogênio, os átomos de nitrogênio, que constituem a cafeína podem estar sendo usados como um recurso para a planta (PETERMANN & BAUMANN, 1983).

Segundo MAZZAFERA (1999), como os alcalóides contêm compostos nitrogenados, baixo teor de cafeína é esperado em tratamentos com menor disponibilidade de N. Este autor observou a estreita correlação entre o fornecimento de N e o nível de cafeína em plântulas de café (*Coffea arabica* L.). O nível de cafeína varia como parte integrada do metabolismo de compostos nitrogenados da planta, e em função do fornecimento deste elemento.

Embora com algumas exceções, muitas pesquisas têm apresentado aumento no conteúdo de alcalóides com fertilização nitrogenada (WALLER & NOWACKI, 1978). Em alguns casos, a resposta pode variar de acordo com a fonte nitrogenada utilizada na fertilização (nitrato, amônia ou uréia).

Além do N, pesquisas demonstram que a redução de K geralmente resulta em aumento da porcentagem de alcalóides em plantas; já o efeito do P é contrário ao do K (¹⁰MINORENKO, 1965, citado por MAZZAFERA, 1999). MAZZAFERA (1999), ao estudar o comportamento do suprimento de nutrientes sobre o conteúdo de cafeína em folhas de café (*Coffea arabica* L.), observou que a omissão de K induziu o aumento do conteúdo de cafeína nas folhas, e a ausência de P e N induziu a redução.

Em pesquisa realizada com chá preto (*Camelia sinensis*), YUN *et al.* (1999) concluíram que a fertilização com K e Mg aumentam o teor de cafeína nas folhas.

MAZZAFERA *et al.* (1996) relata que na célula, a cafeína se encontra complexada com K e ácido clorogênico, e também ocorre no espaço intercelular.

2.4.2. Taninos

A presença de substâncias tânicas, responsáveis pela adstringência da erva-mate, é conhecida desde o final do século, por Rochleder e Hlaswetz que, ao estudarem o mate do Paraguai, obtiveram um ácido do mate idêntico ao cafetaninos (pseudo-taninos), já conhecido da semente do café (¹¹MARTINS, 1926 citado por VALDUGA, 1995).

PAULA (1968), constatou que os teores de taninos nas folhas de erva-mate variam em função da idade das folhas e da época de coleta do material. Com a idade, aumenta o teor de taninos nas folhas, até o estágio de adultas, diminuindo em seguida nas folhas mais velhas. Folhas colhidas em uma mesma árvore (nas primeiras 2 e 3 folhas do mesmo broto; nas 3 e 4 folhas seguintes; folhas plenamente adultas e folhas de 2 a 3 anos de idade), em plena época de renovação vegetativa, deram os seguintes resultados: 7,35; 8,30; 9,50 e 6,80%, respectivamente. No entanto, em amostras coletadas em época de repouso vegetativo (no inverno), o referido autor encontrou teores mais elevados em relação ao período de desenvolvimento vegetativo, correspondendo a 11,30; 9,50; 9,15 e 7,60% dos taninos, respectivamente.

¹⁰ MINORENKO A.V., Fiziologiya I Biokhimiya Lupina. Minsk, Nauka i Tekhnika, 1965. 325p.

¹¹ MARTINS, R. *Ilex* sp - Mate, Chá Sul Americano, 1926.

Os teores de ácido tânico obtidos por VALDUGA (1995) em erval com 8 anos de idade, plantado a céu aberto, variaram de 7,17 a 11,10%.

¹²CLIFFORD & MARTINEZ (1990) citado por VALDUGA (1995), isolaram e quantificaram as substâncias tânicas presentes em 4 amostras comerciais em erva-mate (1- mate seco - Alemanha; 2- chá mate verde - Brasil; 3- mate verde - Brasil e 4-mate verde - Alemanha), por CLAE com detecção a 313 nm, espectrofotometria do UV e RMN. Foram identificadas as seguintes substâncias tânicas: ácido clorogênico (CGA); ácido 3,4 dicafeoilquínico (3,4-diCQA); ácido 3,5-dicafeoilquínico (3,5-diCQA); ácido 4,5-dicafeoilquínico (4,5-diCQA); ácido 3-cafeoilquínico (3-diCQA); ácido 4-cafeoilquínico (4-CQA); ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA) e ácido 5-ferroloilquínico, cujos teores encontram-se na Tabela 14.

TABELA 14 - CONTEÚDO DE SUBSTÂNCIAS TÂNICAS EM AMOSTRAS COMERCIAIS DE ERVA-MATE (%)

Substâncias Tânicas	Mate Seco	Chá Mate Verde Brasil	Mate Verde Brasil	Mate Verde Alemanha
Ácido clorogênico (CGA)	2,88	2,89	9,76	9,40
Ácido 3,4 dicafeoilquínico (3,4-diCQA)	0,14	0,10	0,65	0,60
Ácido 3,5 dicafeoilquínico (3,5-diCQA)	0,17	0,48	2,82	2,60
Ácido 4,5 dicafeoilquínico (4,5-diCQA)	0,21	0,55	1,10	0,97
Ácido 3 cafeoilquínico (3-CQA)	0,33	0,27	2,15	2,32
Ácido 4 cafeoilquínico (4-CQA)	0,37	0,29	0,89	0,90
Ácido 5 cafeoilquínico (5-CQA)	0,57	0,60	1,56	1,43
Ácido 5 ferroloilquínico (5-FQA)	0,39	0,42	--	--
Total de Componentes	5,06	5,60	18,93	18,22

FONTE: Adaptado de CLIFFORD & MARTINEZ (1990) citado por VALDUGA (1995).

RACHWAL *et al.* (2000) verificaram aumento nos teores de taninos em sítios de maior luminosidade. Obtiveram teores médios de 16,4% em sítios com 77% de luminosidade, e teor de 13,4% em sítios com 19% de luminosidade.

¹² CLIFFORD, M.N.; MARTINEZ, J.R.R. Chlorogenic acids and purine alkaloids contents of mate leaf and beverage. J.Food Chem., v. 35, n.1, p. 13-21, 1990.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

O experimento constou de ensaio a céu aberto, no viveiro experimental do Departamento de Ciências Florestais da UFPR, em Curitiba.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Definição dos Tratamentos

Os tratamentos foram elaborados com objetivo de comparar a resposta em plantas de erva-mate ao uso de duas fontes distintas de adubação: química e orgânica, tendo sido avaliados no experimento, cinco tratamentos e uma testemunha.

Para o cálculo da quantidade de nutrientes em cada tratamento químico, utilizou-se como referência as dosagens de nitrogênio, fósforo e potássio, recomendadas para a erva-mate, pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RS/SC (1994), tendo como base 40 kg de N/ha, 120 kg P₂O₅/ha e 40 kg K₂O/ha. Após cálculo e dosagem, os nutrientes foram misturados ao solo. Em relação ao componente orgânico, optou-se por utilizar diferentes proporções de mistura de solo com húmus de minhoca, definida aleatoriamente e, ainda, um tratamento com a adição de P, na forma de superfosfato simples, ao substrato. A testemunha não recebeu nenhum tipo de fertilização.

Os tratamentos T1 e T2 foram denominados de químicos, e os tratamentos T3, T4 e T5 de orgânicos, os quais são apresentados a seguir (os valores são relativos à quantidade dos nutrientes sob as formas de N, P e K):

- T0 – Testemunha;
- T1 - Adubação química, com aplicação de N-P-K, equivalente a 0,13 kg N/m³; 0,17 kg P/m³ e 0,10 kg K/m³;

- T2 - Adubação química, com aplicação de N-P-K, equivalente a 0,13 kg N/m³; 0,074 kg P/m³ e 0,13 kg K/m³);
- T3 - Adubação orgânica, com mistura de solo e húmus de minhoca, na proporção 1:1;
- T4 - Adubação orgânica, com mistura de solo e húmus de minhoca, na proporção 2:1; e,
- T5 - Adubação orgânica e química, com mistura de solos e húmus de minhoca, na proporção de 2:1 + P (adição de 0,074 kg P/m³).

3.2.2. Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. Foram utilizados 6 tratamentos, definidos pelas formas de adubação, e cada tratamento foi aplicado em 4 repetições de parcelas de 16 vasos, somando 64 vasos por tratamento, e totalizando 384 vasos.

3.2.3. Caracterização do Material do Experimento

3.2.3.1. Recipiente

O experimento foi conduzido em vasos de plástico (polietileno) com diâmetro de 20 cm e capacidade de 2,5 dm³ de substrato.

3.2.3.2. Preparo do Substrato

Como substrato foi utilizado solo proveniente da Estação Experimental da UFPR sediada em Rio Negro, que possui, nas suas condições naturais teores de nutrientes abaixo daquele supostamente adequado (nível crítico), para o crescimento máximo de erva-mate. O solo foi passado em peneira com malha de 2 mm.

Foi realizada análise química no solo utilizado no experimento, cujo resultado é apresentado na Tabela 15.

TABELA 15 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO SOLO

Amostra	pH	Al ⁺³	H+Al	Ca ⁺² +Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	T	P	C	m	V
	CaCl ₂	cmolc/dm ³					mg/dm ³	g/dm ³	%	%	
1	4,0	2,1	10,4	0,9	0,5	0,06	11,4	1,0	19,2	68,6	8,5
2	4,0	2,1	9,7	0,7	0,4	0,06	10,5	1,0	16,7	73,4	7,3

FONTE: Análise realizada no Laboratório de Solos da UFPR (out/1998)

O componente orgânico que entrou na composição do substrato para os tratamentos T3, T4 e T5, foi húmus de minhoca proveniente de Almirante Tamandaré, Região Metropolitana de Curitiba/PR. Os resultados da análise são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO HÚMUS

Amostra	pH	Al ⁺³	H+Al	Ca ⁺² +Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	T	P	C	m	V
	CaCl ₂	cmolc/dm ³					mg/dm ³	g/dm ³	%	%	
1	5,9	0,0	3,5	23,2	13,0	3,50	30,2	105,4	98,7	0,0	88,4
2	6,2	0,0	0,0	22,9	11,5	3,22	26,1	62,7	97,6	0,0	0,0
3	6,8	0,0	0,0	20,5	10,9	3,00	23,5	60,2	91,0	0,0	0,0

FONTE: Análise realizada no Laboratório de Solos da UFPR (out/1998)

3.2.4. Quantidade e Forma de Aplicação dos Fertilizantes

Os fertilizantes aplicados foram o sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. A quantidade de cada fertilizante foi calculada baseando-se nas RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA OS ESTADOS DO RS/SC (1994). As dosagens utilizadas na adubação química, de nitrogênio [N], fósforo [P] e potássio [K], estão na Tabela 17.

TABELA 17 - TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO QUÍMICA TESTADOS NO EXPERIMENTO COM ERVA-MATE (kg/m³)

Tratamentos	Sulfato de Amônio	Superfosfato Simples	Cloreto de Potássio
T0 (Testemunha)	--	--	--
T1 (N-P-K 130:170:100)	0,640	2,138	0,215
T2 (N-P-K 130:75:130)	0,640	0,944	0,282
T5 (75 mg.kg ⁻¹ de P)		0,944	

Após sua pesagem, os fertilizantes foram misturados ao solo, de acordo com as quantidades estipuladas para cada tratamento e feita a homogeneização misturando o fertilizante ao solo em lona plástica preta.

Depois de realizada a mistura, a análise do substrato somente foi realizada para micronutrientes, sendo que os teores de matéria orgânica e dos elementos P e K, foram calculados de forma proporcional à quantidade de adubo colocado para cada tratamento.

Após o preparo do substrato, as mudas foram plantadas nos vasos.

3.2.5. Preparo das Mudas

Foram utilizadas mudas produzidas em saquinhos plásticos, obtidas a partir de sementes coletadas na região de Ivaí/PR. Estas foram transplantadas para vasos já com o substrato contendo o adubo ou a mistura com húmus de minhoca. No transplante do saquinho para os vasos, foi retirada toda a terra das raízes e as mesmas foram podadas, de forma a ficarem com um comprimento médio de 10 cm. As mudas plantadas receberam rega freqüente e permaneceram a céu aberto.

3.3. VARIÁVEIS MENSURADAS

As variáveis mensuradas foram:

- altura das plantas (ALT);
- diâmetro do colo das mudas (DIA);
- peso da matéria seca da parte aérea (MST);
- peso da matéria seca das folhas (MSF);
- teores foliares dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg;
- teores foliares dos micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn; e,
- teores foliares de cafeína e tanino.

As medidas de altura e diâmetro de colo foram tomadas na época da implantação do experimento. O plantio foi realizado em outubro de 1998, e, as amostras para análise foliar foram coletadas após o período vegetativo, nos dias 20 e 21 de julho de 1999.

3.4. ANÁLISES FOLIARES

3.4.1. Coleta de Material para Análise

Para determinação do peso da matéria seca da parte aérea, realizou-se o corte da parte aérea da planta rente ao colo da planta. Os ramos e folhas que cresceram no período vegetativo, foram separados dos ramos “velhos”, acondicionados em cartuchos de papel devidamente identificados. Todas as partes foram lavadas em água deionizada e levadas para secagem em estufa à temperatura de 70° C até peso constante. O material foi pesado em balança de precisão.

3.4.2. Análise Química de Nutrientes das Folhas

O preparo e digestão das amostras foram feitos pelo método via seca, de acordo com as descrições feitas por HILDEBRAND (1976). As cinzas obtidas após a queima em mufla (500° C), foram solubilizadas em HCL 10% e os elementos foram determinados através dos seguintes processos:

- N segundo método de Kjeldahl, conforme descrito por HILDEBRAND (1976);
- P por colorimetria com vanadato molibdato de amônio (cor amarela) e leitura em espectrofotômetro UV/VIS - 554 Perkin-Elmer.
- K por fotometria de emissão; e,
- Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al, as amostras foram submetidas à digestão (HCl 10%). As leituras foram feitas em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme metodologia de HILDEBRAND (1976).

As análises de macro e micronutrientes nas folhas foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba.

3.4.3. Determinação Quantitativa de Cafeína

A determinação de cafeína foi efetuada de acordo com metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

Procedimento:

- Pesar 2 g de amostra em erlenmeyer de 300 ml. Adicionar 5 g de óxido de magnésio e 200 ml de água;
- Aquecer a ebulição por 45 minutos, com agitação. Adicionar água durante o aquecimento para repor a perda por evaporação. Esfriar para temperatura ambiente, filtrar para funil de separação de 250 ml.;
- Adicionar 4 ml da solução de ácido sulfúrico (1+9) e extrair com 20 ml de clorofórmio, agitando vigorosamente por um minuto. Transferir a camada clorofórmica para outro funil de separação. Repetir a operação por 5 vezes e reunir os extratos em funil de separação;
- Adicionar 5 ml de solução de hidróxido de potássio 1%, agitar por um minuto e esperar a separação das fases. Filtrar em algodão para um balão de 100 ml e completar o volume com clorofórmio; e,
- Fazer leitura da absorbância no espectrofotômetro a 276,5 nm, em cubetes de quartzo de 1 cm de espessura, usando clorofórmio como branco. (Espectrofotômetro UV-visível, marca Micronal-B 382).

Preparo da Curva Padrão

Dissolveu-se 50 mg de cafeína (procedência Merck, p.a.) em 250 mL de clorofórmio. Pipetou-se alíquotas 1, 2, 3, 4 e 5 mL para balão volumétrico de 50 mL, respectivamente, completando-se o volume com clorofórmio e leu-se a absorbância no espectrofotômetro a 276,5 nm, usando-se clorofórmio (prova em branco). Construiu-se uma curva padrão $\text{absorbância}_{276,5} \times \text{mg de cafeína}/50 \text{ mL}$.

3.4.4. Determinação Quantitativa de Taninos

A determinação de taninos (ácido tânico) foi efetuada conforme o procedimento descrito a seguir:

Procedimento:

- Pesar 1 g de amostra, transferir para balão volumétrico de 500 ml com água deionizada, agitar e completar o volume;
- Pipetar 5 ml da solução e transferir para balão volumétrico de 100 ml, contendo 5 ml de água deionizada;
- Adicionar 5 ml de reagente de Folin-Denis e 10 ml de solução saturada de carbonato de sódio, completar o volume com água deionizada, agitar e filtrar após 30 minutos; e,
- Determinar a absorbância em espectrofotômetro à 760 nm. (Espectrofotômetro UV-visível, marca Micronal-B 382).

Preparo do reagente de Folin-Denis:

- 100 g de tungstato de sódio p.a.;
- 20 g de ácido fosfomolibdico p.a.;
- 50 ml de ácido fosfórico p.a.;
- Adicionar 750 ml de água deionizada e levar à aquecimento com refluxo por aproximadamente 2 horas e diluir para 1 litro.

Preparo da solução saturada de carbonato de sódio:

- Adicionar 25 g de carbonato de sódio anidro em 100 ml de água, dissolver à 70°C e deixar esfriar durante à noite; e,
- Adicionar alguns cristais de carbonato de sódio decahidratado p.a., deixar em repouso até cristalização e filtrar através de lã de vidro.

As determinações de cafeína e taninos foram realizadas no Laboratório de Química Analítica do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba.

3.5. ANÁLISE DE SOLO

As amostras do solo utilizado como substrato foram secas ao ar, moídas e passadas por peneira de 2 mm. A análise química foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Paraná, onde foi determinado o pH em CaCl_2 , e ainda os teores presentes de Al^{+++} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$, Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , P e C; e calculados CTC e V%, segundo EMBRAPA (1979).

A análise química do húmus foi realizada conforme a rotina descrita para análise do solo.

Na análise física das amostras para classificação, foram determinadas as porcentagens de areia, silte e argila pelo método da pipeta, usando NaOH 1 N como dispersante (EMBRAPA, 1979).

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Procedeu-se a análise de variância dos dados coletados. Comparou-se as médias das variáveis de crescimento, teores de nutrientes da MSF e teores de cafeína e tanino foliares, segundo um delineamento inteiramente casualizado com 6 tratamentos (adubação) e 4 repetições (parcelas de 16 vasos). As diferenças significativas foram determinadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando-se o programa SANEST para análise estatística (ZONTA *et al.*, 1985).

Com o objetivo de comparar os tratamentos em pares, utilizou-se o Teste F para contrastes, aliado ao teste de comparações múltiplas ou teste de comparações de média. Estes testes têm a finalidade de detectar diferenças entre os tratamentos. Pode-se comparar as médias entre grupos, os quais serão formulados de acordo com os objetivos do experimento. Nas condições do presente estudo, os contrastes formulados visaram a comparação entre os grupos de adubação química e grupos de adubação orgânica, e também a comparação entre os tratamentos, dentro de cada grupo, separadamente. Os contrastes de médias que forneceram estas comparações estão especificados na tabela 18. Os cálculos de contrastes foram efetuados no programa SANEST (ZONTA *et al.*, 1985).

TABELA 18 - CONTRASTES REALIZADOS PARA COMPARAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS

Causas da variação	Especificação
Contraste nº 1	T0 vs demais
Contraste nº 2	T1 vs T2
Contraste nº 3	T3 vs T4
Contraste nº 4	T1T2 vs T3T4
Contraste nº 5	T4 vs T5

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados das variáveis: altura, diâmetro de colo, matéria seca, teores foliares de macro e micronutrientes, e, teores foliares de cafeína e taninos.

Primeiramente, são apresentados e discutidos os resultados das análises de solo e húmus. Em seguida, são discutidos os teores foliares de nutrientes, e feita uma abordagem das variáveis de crescimento. Por último, são discutidos os resultados dos teores médios obtidos nas análises de cafeína e taninos.

4.1. TEOR DE NUTRIENTES NO SUBSTRATO

Depois de realizada a mistura do adubo com o solo nos tratamentos T1 e T2, e a mistura de solo com o húmus de minhoca definidos nos tratamentos T3, T4 e T5, foram calculados os teores dos elementos químicos existentes nos substratos, com base nas análises realizadas no solo e no húmus (tabelas 15 e 16). Os resultados são apresentados na tabela 19.

TABELA 19 - TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO, CALCULADOS COM BASE NAS ANÁLISES DE SOLO E HÚMUS

Tratamento	M.O.	P	K	Ca	Mg	Fe*	Mn*	Cu*	Zn*
	g/kg	mg/kg							
T0	31,0	1,0	23,5	100,0	48,6	27,8	3,0	1,3	1,0
T1	31,0	171,0	123,5	100,0	48,6	27,6	4,0	1,7	2,6
T2	31,0	76,0	153,5	100,0	48,6	27,4	2,8	1,9	2,0
T3	97,9	31,5	645,2	1.230,0	656,1	19,5	47,0	1,9	22,4
T4	75,6	21,3	437,9	853,3	453,6	29,2	28,8	2,3	15,6
T5	75,6	96,3	437,9	853,3	453,6	27,3	30,6	2,1	16,6

* Teores obtidos através da análise de micronutrientes realizada no substrato.

Considerando o índice de conversão de 1,72 para cada grama de carbono, o teor médio de matéria orgânica resultante da análise do solo, variou de 28,7 a 33,0 g/kg (tabela 15) e o teor de matéria orgânica, encontrado na análise do húmus, variou de 156,5 a 170,0 g/kg (tabela 16), resultado que se enquadra no teor alto de M.O. (M.O. > 50 g/kg) segundo classificação quantitativa para carbono orgânico no estado do Paraná, proposta por TOMÉ JR. (1997). Segundo SOSA (1994), teores altos de M.O. são favoráveis ao desenvolvimento da cultura de erva-mate.

Altos teores de matéria orgânica representam alta CTC total, maior poder tampão, maior disponibilidade dos nutrientes S, P e B e menor risco de ocorrer deficiência de micronutrientes em condições de pH elevado. No entanto, pode ocorrer deficiência de Cu pela formação de complexos com matéria orgânica (TOMÉ JR., 1997).

O solo utilizado classifica-se, segundo TOMÉ JR. (1997), como distrófico álico ($V\% < 50\%$), pobre em bases trocáveis, alto teor de alumínio trocável ($Al\ troc > 0,3\ cmol/dm^3$) e alta saturação por alumínio ($m\ \% > 50\ \%$). Considerando que a erva-mate é tolerante a elevados teores de alumínio e solos ácidos (OLIVEIRA & ROTTA, 1985; CARVALHO, 1994; FOSSATI, 1997), as características químicas do solo analisado, em relação ao Al trocável e alta saturação por alumínio é compatível com o desenvolvimento da cultura.

De acordo com os resultados da análise de solos, o teor de fósforo, existente no solo utilizado para compor o substrato, foi classificado como Limitante ($P \leq 2,0$), o potássio como Muito Baixo ($21 - 40\ mg\ K/dm^3$), e o cálcio e magnésio como Baixo ($Ca < 2,0\ cmol/dm^3$ e $Mg < 0,4\ cmol/dm^3$). Esta composição é observada no tratamento T0, em que as condições de fertilidade do solo para erva-mate são mínimas.

4.2. TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE ERVA-MATE

Os teores médios de macronutrientes e micronutrientes foliares de erva-mate, obtidos através de análise, após o período vegetativo são apresentados na tabela 20 (anexo 1).

TABELA 20 - TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE ERVA-MATE

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	g/kg					mg/kg (ppm)			
T0	13,17	1,05	8,52	5,75	4,03	76,75	910,25	6,00	50,25
T1	10,85	3,05	19,57	5,33	1,75	66,75	896,25	5,00	129,50
T2	11,31	2,40	21,02	4,98	1,85	100,25	949,50	5,50	130,00
T3	22,94	4,87	10,52	6,32	6,53	85,75	127,75	7,00	102,25
T4	27,50	4,13	14,67	6,90	6,63	85,75	253,00	9,25	173,75
T5	25,67	3,87	8,67	7,20	7,03	94,25	222,25	8,00	136,00

4.2.1. Correlações entre Teores dos Elementos no Solo e na Planta

As figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, a relação existente entre as concentrações dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg e dos micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn existentes no solo e sua concentração nas folhas de erva-mate. Cabe salientar que maior concentração de um determinado nutriente no substrato não significa que a planta necessita de altas quantidades do mesmo. Em alguns casos, o excesso de um elemento no solo pode causar toxidez na planta.

A figura 4 apresenta a relação entre a M.O. existente nos substratos para os diferentes tratamentos (tabela 20) e o teor de N nas folhas de erva-mate, verificando-se correlação altamente significativa ($R^2=0,98$). A concentração foliar de N está diretamente relacionada com a quantidade de M.O. existente no substrato.

Não existe correlação significativa entre o teor de P no solo e o correspondente absorvido pela planta. A curva apresenta um comportamento ascendente, porém os pontos de maior concentração do elemento nas folhas de erva-mate estão relacionados com a presença de M.O. (tabela 20), maior disponibilidade de P no solo, proveniente de adição do elemento através da adubação química, não teve resposta de absorção pela planta (figura 4 b).

Quanto ao K (figura 4 c), não houve proporcionalidade entre o teor disponível no solo e o encontrado na planta (tabela 20).

Com relação ao Ca e Mg (figura 4 d, 4 e, tabela 20) observa-se que, nos tratamentos orgânicos os teores destes nutrientes disponíveis no solo foram acentuadamente maiores. Ambos apresentaram correlação significativa entre os teores verificados no solo com aqueles observados nas folhas de erva-mate. A curva

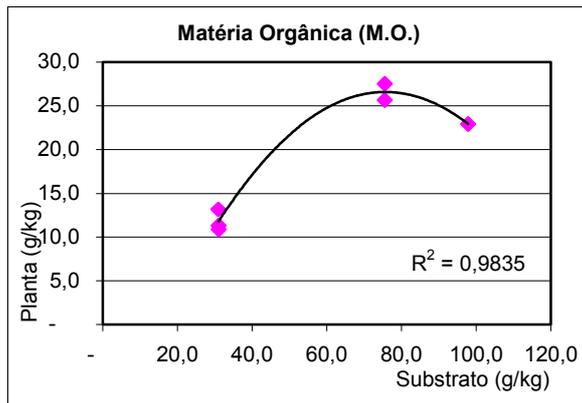
apresentou comportamento ascendente até um ponto de máxima absorção pelas folhas, a partir do qual começa a cair. A concentração foliar do Mg apresentou uma queda acentuada na erva-mate quando com tratamentos químicos (tabela 20), em função do antagonismo verificado entre este elemento e o K, conforme será discutido adiante.

Os teores de Fe existentes no substrato e absorvidos pelas plantas de erva-mate não apresentaram correlação significativa (figura 5 a, tabela 20).

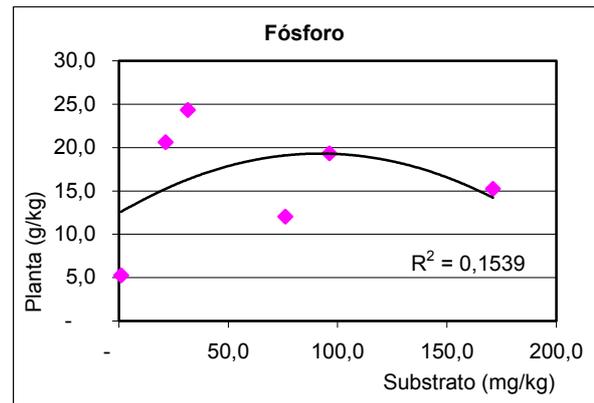
O teor de Mn do solo apresentou grande variação entre os tratamentos em função de receberem adubação química ou orgânica. Nos tratamentos orgânicos, o teor de Mn no substrato foi cerca de 90% maior, entretanto, os teores foliares foram menores cerca de 75% indicando haver complexação do elemento com a M.O. do substrato, de forma a torná-la indisponível. Verificou-se correlação altamente significativa entre o teor do Mn no solo e o correspondente absorvido pelas plantas de erva-mate, conforme pode ser verificado na figura 5 b (tabela 20).

O Cu apresentou correlação significativa, entre o teor existente no substrato e os teores foliares (figura 5 c, tabela 20). Ao contrário do que ocorre com o Mn, a relação é diretamente proporcional.

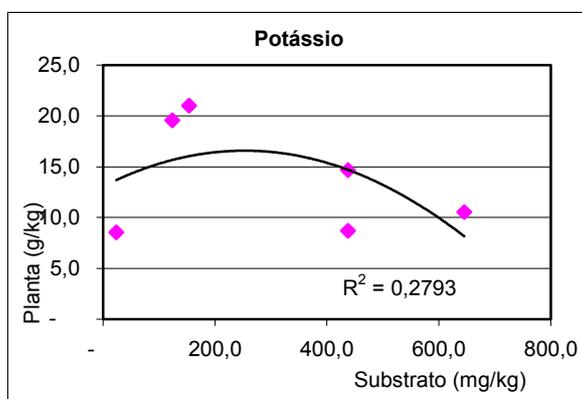
A curva de relação entre o teor de Zn no substrato e o teor concentrado nas plantas, apresenta comportamento ascendente até um ponto de máxima absorção no tratamento T4 (figura 5 d, tabela 20), a partir do qual começa a cair. Observou-se um aumento acentuado do teor de Zn no solo para os tratamentos com húmus em relação aos tratamentos com adubação química (tabela 19), não correspondente nos teores foliares (tabela 20), indicando que pode estar ocorrendo complexação com a matéria orgânica e indisponibilidade do elemento para as plantas. O zinco, na solução do solo é imobilizado por ácidos húmicos, e à medida que os sítios de ligação forte vão sendo saturados, maior quantidade é solubilizada por ácidos fúlvicos, o elemento é adsorvido e vai sendo liberado lentamente (FERREIRA & CRUZ, 1991).



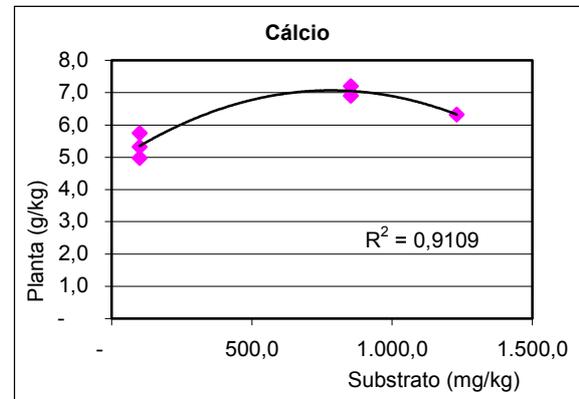
(a)



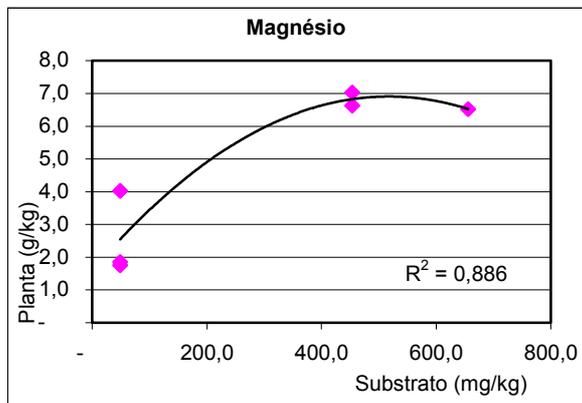
(b)



(c)



(d)



(e)

FIGURA 4 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SUBSTRATO E ABSORVIDOS POR PLANTAS DE ERVA-MATE

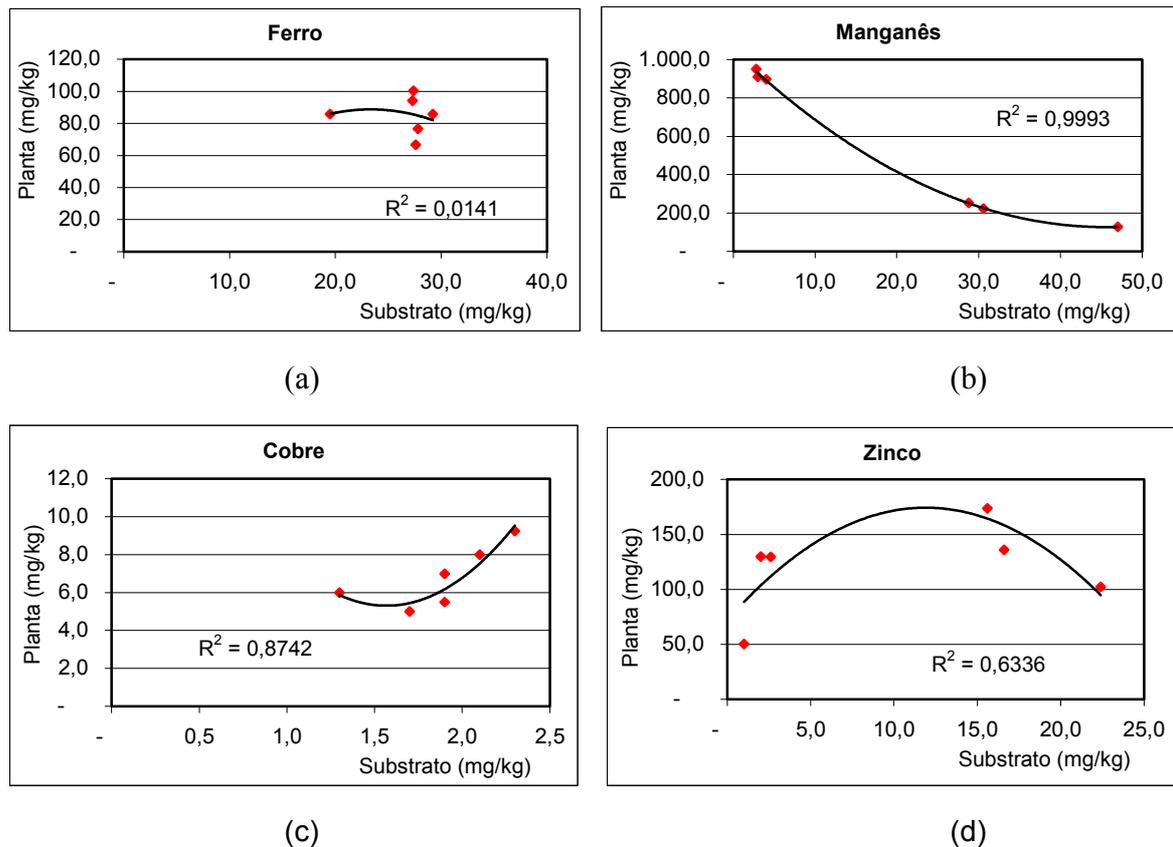


FIGURA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES DE MICRONUTRIENTES NO SUBSTRATO E ABSORVIDOS POR PLANTAS DE ERVA-MATE

Segundo VOLKWEISS (1989), os elementos Cu, Zn e Mn, na forma de Cu^{2+} , Zn^{2+} e Mn^{2+} são adsorvidos fortemente à superfície da matéria orgânica e de óxi-hidróxidos de alumínio e ferro do solo. Estes elementos substituem íons H^+ , quando ocorre a calagem, e formam complexos. O mecanismo de complexação dos metais com a matéria orgânica pode ser demonstrado conforme a figura 6, onde o M^{2+} representa estes cátions.

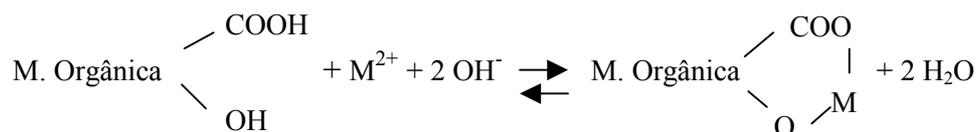


FIGURA 6 - MECANISMO DE COMPLEXAÇÃO DOS METAIS (VOLKWEISS, 1989)

Nas condições deste estudo, teores mais elevados dos elementos Zn e Mn no solo foram encontrados na presença de maior quantidade de matéria orgânica, ou seja, na mistura de solo com húmus na proporção 1:1 (T3), em relação à proporção 2:1 (T4). Porém, esta tendência não foi observada na absorção pelas plantas, em função da complexação dos elementos no solo (tabela 20).

Com relação ao Cu (figura 5 c), os teores no solo tiveram apenas um sensível aumento nos tratamentos orgânicos (tabela 19), enquanto que nas plantas a absorção foi expressiva nestes tratamentos e baixa nos tratamentos onde houve aplicação de adubação nitrogenada (tabela 20). A esse respeito, MARSCHNER (1991) diz que aplicações de nitrogênio acentuam a deficiência de cobre, o autor considera que o N teria um efeito específico na disponibilidade e mobilidade do Cu.

4.2.2. Análise das Variáveis Químicas Foliares

As comparações das médias dos elementos resultantes da análise química foliar de macronutrientes e micronutrientes são apresentadas na tabela 21 (anexos 2 e 4). Os resultados do teste F para contraste estão na tabela 22 (anexos 3 e 5).

O teste F para contraste entre a testemunha T0 e demais tratamentos, resultou em diferença significativa ao nível de 1% ($P > F 0,01$) para os elementos N, P, K, Mn e Zn e de 3% ($P > F 0,03$) para Mg, os elementos Ca, Fe e Cu não tiveram significância.

TABELA 21 - TESTE DE MÉDIAS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES FOLIARES EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS APLICADOS EM MUDAS DE ERVA-MATE

N (g/kg)			P (g/kg)			K (g/kg)		
Trat.	Média		Trat.	Média		Trat.	Média	
T4	27,50	a	T3	4,87	a	T2	21,02	a
T5	25,67	a	T4	4,13	a	T1	19,57	ab
T3	22,94	a	T5	3,87	ab	T4	14,67	bc
T0	13,17	b	T1	3,05	abc	T3	10,52	cd
T2	11,31	b	T2	2,40	bc	T5	8,67	d
T1	10,85	b	T0	1,05	c	T0	8,52	d

Ca (g/kg)			Mg (g/kg)			Cu (mg/Kg)		
Trat	Média		Trat	Média		Trat	Média	
T5	7,20	a	T5	7,03	a	T4	9,25	a
T4	6,90	ab	T4	6,63	a	T5	8,00	ab
T3	6,32	abc	T3	6,53	a	T3	7,00	ab
T0	5,75	bcd	T0	4,03	b	T0	6,00	ab
T1	5,33	cd	T2	1,85	c	T2	5,50	ab
T2	4,98	d	T1	1,75	c	T1	5,00	b

Fe (mg/kg)			Mn (mg/kg)			Zn (mg/kg)		
Trat	Média		Trat.	Média		Trat.	Média	
T2	100,25	a	T2	949,50	a	T4	173,75	a
T5	94,25	a	T0	910,25	a	T5	136,00	a
T4	85,75	a	T1	896,25	a	T2	130,00	ab
T3	85,75	a	T4	253,00	b	T1	129,50	ab
T0	76,75	a	T5	222,25	b	T3	102,25	ab
T1	66,75	a	T3	127,75	b	T0	50,25	b

NOTA: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando as fontes de adubação testadas, os resultados da análise foliar mostram que houve diferença significativa no contraste entre tratamentos minerais e orgânicos (T1T2 vs T3T4), para os elementos N, P, K, Ca, Mg, Mn e Cu. Os micronutrientes Fe e Zn não sofreram influência significativa (tabela 22).

TABELA 22 - RESULTADOS DO TESTE F PARA CONTRASTES ENTRE TRATAMENTOS DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS FOLIARES OBTIDAS EM MUDAS DE ERVA-MATE

CONTRASTES	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	Valores de F								
T0 vs demais	0,00	0,00	0,00	0,23	0,03	0,52	0,00	0,65	0,00
T1 vs T2	0,77	0,64	0,62	0,59	0,80	0,09	0,24	0,69	0,98
T3 vs T4	0,01	0,29	0,02	0,18	0,80	1,00	0,01	0,05	0,01
T1T2 vs T3T4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	0,66
T4 vs T5	0,25	0,71	0,00	0,52	0,33	0,66	0,50	0,31	0,16

A tabela 23 apresenta valores comparativos entre teores foliares de elementos minerais em erva-mate, obtidos em diferentes situações: erval nativo, plantado à céu aberto e os teores médios obtidos nas condições deste estudo. Quando comparados com outra folhosa (eucalipto) e com o chá preto, observa-se que os teores médios de N, P e K dos tratamentos químicos são semelhantes aos obtidos na erva-mate plantada e no eucalipto, sendo que o chá preto (*Camelia sinensis*) apresenta teores de N, P e K muito superiores.

TABELA 23 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES EM ERVA-MATE COM TEORES FOLIARES CONSIDERADOS ADEQUADOS PARA ALGUMAS ESSÊNCIAS FLORESTAIS

Cultura	N	P	K	Ca	Mg
	g/kg				
Eucalipto*	14 - 16	1,0 - 1,2	10 - 12	8 - 12	4,0 - 5,0
Erva-mate plantada**	17 - 24	0,8 - 1,9	8 - 12	7,3 - 10,9	6,7 - 9,7
Erva-mate nativa***	15 - 22	1,0 - 1,1	14 - 18	5,7 - 7,7	2,7 - 5,0
Chá preto*	45 - 50	4,5 - 5,0	20 - 25	3 - 4	2,0 - 2,5
Erva-mate****	23 - 27	3,9 - 4,9	15 - 21	6 - 7	6,5 - 7,0
Erva-mate*****	11 - 13	1,0 - 3,0	8 - 10	2 - 4	1,7 - 4,0

* Adaptado de MALAVOLTA (1980)

** Dados obtidos por FOSSATI (1997)

*** Dados obtidos por REISSMANN (1983)

**** Médias dos tratamentos orgânicos deste estudo

***** Médias dos tratamentos químicos deste estudo

Entre todos os tratamentos, os teores médios de P variaram de um mínimo de 1,05 g/kg na testemunha (T0) a um máximo de 4,87 g/kg no tratamento T3. Os teores encontrados tanto nos tratamentos químicos como orgânicos são considerados muito altos, quando comparados com médias obtidas por outros autores para erva-mate, mesmo tratando-se de mudas. REISSMANN *et al.* (1983), encontraram valores entre 1,02 e 1,13 g/kg. CAMPOS (1991) encontrou teores entre 1,0 e 1,2 g/kg em árvores com 9 anos de idade. REISSMANN & PREVEDELLO (1992) encontraram teores foliares mais baixos, entre 0,5 e 0,7 g/kg, em mudas de 1 ano, mesmo com adubação fosfatada. RADOMSKI *et al.* (1992) constataram valores de P entre 2,3 a 2,8 g/kg para folhas jovens e 0,8 a 2,0 g/kg, para folhas velhas. FOSSATI (1997) encontrou teor médio de 1,1 g/kg e considerou este valor baixo.

Em região ervateira na Argentina, SOSA (1992) considera como nível alto de P, teores acima de 1,8 g/kg; nível médio, teores entre 1,5 e 1,8 g/kg e como nível baixo, teores entre 1,0 e 1,4 g/kg.

O tratamento T3 apresentou a maior média do teor foliar de P (4,87 g/kg), diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tukey 5%).

Para os tratamentos T1 e T2 não houve diferença estatística significativa, embora tenha sido reduzida a quantidade de P aplicado na adubação química, também não apresentou diferença estatística em relação ao tratamento T5, onde foram adicionados 75 ppm de P.

O teste F de contrastes apresentou diferença estatística em nível de 1% ($P > F$ 0,01) entre tipos de adubação (T1T2 vs T3T4), evidenciando a influência da M.O. na disponibilidade de N para as plantas, e também na comparação entre a testemunha (T0) e demais tratamentos. O resultado do contraste T4 vs T5 não revelou efeito significativo ($P > F$ 0,7), indicando que a aplicação de uma dosagem adicional de P não refletiu em aumento do teor de P foliar.

As maiores médias de K foliar foram encontradas nos tratamentos T1 e T2, onde foi adicionado KCl ao substrato, com valores de 19,6 g/kg e 21,0 g/kg, respectivamente, ou seja, observa-se um efeito de concentração do teor de K foliar em função da maior quantidade no solo. O tratamento T2 difere significativamente dos demais (Tukey 5%), mas não difere do T1. O teste F para contraste resultou em efeito significativo para todos os contrastes realizados, somente o contraste entre T1 vs T2 não apresentou significância.

Os maiores teores de K obtidos neste estudo estão dentro do nível médio considerado por SOSA (1992), que considera como nível médio para o K, valores entre 19 e 26 g/kg. Baixos teores de K (nos tratamentos orgânicos) coincidiram com as plantas que tiveram maiores incrementos em altura, diâmetro e massa foliar, indicando estar havendo efeito de diluição pelo aumento considerável de biomassa. Os tratamentos orgânicos apresentaram valores abaixo dos teores constatados para a cultura. REISSMANN *et al.* (1983), encontraram valores entre 14,1 e 18,1 g/kg. CAMPOS (1991) encontrou teores entre 12,2 e 14,9 g/kg em árvores com 9 anos de idade. REISSMANN & PREVEDELLO (1992) em mudas de 1 ano, verificaram teor de 16,1 g/kg na testemunha, sem correção com calcário, e 23,2 g/kg para a maior dosagem de calcário (6,7 t CaCO₃/ha). RADOMSKI *et al.* (1992) constataram variação de 25,8 à 31,1 g/kg em folhas jovens e 11,6 a 14,7 g/kg em folhas velhas. FOSSATI (1997) observou níveis de K que variaram entre 8,0 e 12,2 g/kg.

Os valores de Ca obtidos neste trabalho variam de 5,0 a 7,2 g/kg, e estão dentro do limite de 5,7 e 7,7 g/kg, considerado satisfatório por REISSMANN *et al.* (1983), e por SOSA (1994), que considera teores acima de 3,8 g/kg compatíveis com nível médio de produtividade em erva-mate. Outros autores obtiveram valores do teor de Ca foliar entre 5,7 g/kg e 10,9 g/kg (CAMPOS, 1991; RADOMSKI *et al.*, 1992; FOSSATI, 1997).

REISSMANN & PREVEDELLO (1992), obtiveram teor de 3,2 g/kg na testemunha, sem correção com calcário, e 11,2 g/kg para a maior dosagem de calcário (6,7 t CaCO₃/ha). Observaram que, com o aumento da calagem, houve redução do crescimento, devido ao efeito sobre a absorção dos demais nutrientes pela planta.

Os maiores teores foliares de Ca, nas condições deste estudo, concentraram-se nos tratamentos orgânicos, contudo, não houve variação acentuada do teor de Ca foliar entre os tipos de adubação considerados. O T4 não apresentou diferença significativa em relação ao T0 e T3. O T3 não mostrou diferença significativa em relação aos tratamentos minerais, e os tratamentos T0, T1 e T2 não expressaram diferenças significativas entre si (tabela 21).

Conforme BUCKMANN & BRADY (1983) o suprimento dos elementos Ca e Mg às raízes das plantas é favorecido em presença de M.O., sendo esperado,

portanto, maior teor de Ca foliar nas plantas submetidas à adubação orgânica com húmus.

O teste F resultou em efeito significativo no teor de Ca em erva-mate apenas para o contraste entre os tratamentos que receberam adubação química em relação aos tratamentos que tiveram húmus no substrato ($P > F$ 0,00).

Os teores de Mg encontrados nos tratamentos T5, T4 e T3 (7,03; 6,63 e 6,53 g/kg, respectivamente), são considerados satisfatórios, quando comparados com os teores de Mg obtidos por SOSA (1992), o qual considera nível médio para Mg valores entre 4,4 e 6,0 g/kg, e nível baixo, entre 2,7 e 4,3 g/kg.

Considerando os teores Mg obtidos em outros estudos com erva-mate, como por exemplo: REISSMANN *et al.* (1983), que obtiveram teores de 2,7 a 5,0 g/kg; CAMPOS (1991) encontrou teor médio de 5,9 g/kg em árvores com 9 anos de idade; RADOMSKI *et al.* (1992) constataram valor médio de 3,0 g/kg em folhas jovens, e 4,4 a 6,5 g/kg em folhas maduras; os resultados verificados para os tratamentos T1 e T2, ficaram muito abaixo da média considerada satisfatória para a espécie, tendo sido inferiores até aos valores encontrados na testemunha.

Em todas as plantas dos tratamentos T1, T2 e T0 (testemunha) houve manifestação de clorose nas folhas, podendo ser um sintoma de deficiência de Mg, cujo teor no solo foi considerado baixo. MARSCHNER (1991) relata que a deficiência de Mg foliar induzida por Mn, ocorre devido à competição entre os elementos, por sítios de absorção das raízes.

Nas plantas, o Mg, entre outras funções, é o principal componente da clorofila, pigmento responsável pela fotossíntese. Baixo teor deste elemento reduz a fotossíntese, e conseqüentemente, o crescimento.

O teste de Tukey resultou em diferença estatística entre a testemunha T0 e os demais tratamentos, e entre os tratamentos orgânicos e químicos (tabela 21). Da mesma forma houve efeito significativo, para o teor foliar de Mg, no contraste entre fontes de adubação ($P > F$ 0,00) e também entre a testemunha T0 com os demais tratamentos ($P > F$ 0,03) (tabela 22).

Os teores de Fe variaram principalmente entre tratamentos com adubação química, em função das diferentes quantidades de P aplicadas nestes tratamentos. O maior teor foi 100,25 mg/kg, no T2 e o menor teor foi 66,75 mg/kg, no T1, provavelmente porque o P provoca insolubilização do Fe, principalmente no

substrato do tratamento T1, onde a dosagem de P foi maior. O teor de Fe nas folhas de plantas com deficiências pode ser mais alto que nas folhas de plantas normais, em função de um processo onde parte do Fe permanece inativada, provavelmente pelo P, já que a relação Fe/P é geralmente mais alta que nas plantas normais (MALAVOLTA, 1980).

A tabela 24 apresenta teores foliares de micronutrientes obtidos em ervais nativos e plantados, comparando com os teores obtidos neste estudo e ainda com eucalipto e chá preto.

TABELA 24 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES FOLIARES DE MICRONUTRIENTES EM ERVA-MATE COM TEORES FOLIARES CONSIDERADOS ADEQUADOS PARA ALGUMAS ESSÊNCIAS FLORESTAIS

Cultura	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg/kg			
Eucalipto*	8 - 10	150 - 200	100 - 600	40 - 60
Erva-mate plantada**	6 - 9	115 - 229	1085 - 3434	45 - 130
Erva-mate nativa***	19 - 29	88 - 113	1600 - 2287	21 - 38
Chá preto*		126	142	
Erva-mate****	7 - 9	86 - 95	128 - 253	102 - 174
Erva-mate*****	5 - 6	67 - 100	896 - 950	50 - 130

* Adaptado de MALAVOLTA (1980)

** Dados obtidos por FOSSATI (1997)

*** Dados obtidos por REISSMANN *et al.* (1983)

**** Médias dos tratamentos orgânicos deste estudo

***** Médias dos tratamentos químicos deste estudo

Comparando com os teores obtidos em ervais nativos e plantados, apresentados na tabela 24, o Fe apresentou médias inferiores, entretanto, dentro dos valores obtidos para a espécie.

REISSMANN *et al.* (1983), encontraram teores de Fe entre 88 e 113 ppm. REISSMANN & PREVEDELLO (1992) obtiveram 58 ppm em folhas de mudas com 1 ano de idade. RADOMSKI *et al.* (1992) constataram variação de 25 a 78,8 ppm em folhas jovens e 69 a 138 ppm em folhas velhas. FOSSATI (1997) verificou teor médio mínimo de 94 ppm e máximo de 306 ppm. SOSA (1992), considera como nível médio para o Fe, intervalo entre 61 e 100 ppm, e nível alto, acima de 100 ppm.

Pelo teste de Tukey, comparando a concentração média de Fe foliar,

verificou-se não haver diferença estatística significativa entre os tratamentos (anexo 4). O coeficiente de variação foi de 31,7%. Pelo teste F para contraste, houve efeito significativo entre T1 e T2 ($P > F 0,09$), que pode ser uma consequência da precipitação do Fe pelo P no solo, no T1 (anexo 5). As plantas em substrato orgânico apresentaram maiores quantidades de Fe nas folhas (tabela 21), mesmo em quantidades semelhantes de Fe no solo (tabela 19) para todos os tratamentos, provavelmente porque o Fe existente em substrato orgânico, está na forma de quelatos metálicos solúveis disponíveis para a cultura.

Os níveis de Mn encontrados nas folhas variaram muito entre as fontes de adubação, apresentando-se muito altos nos tratamentos com adubo químico, onde foi aplicado sulfato de amônia e cloreto de potássio, e muito baixos nos tratamentos com húmus (tabela 20).

Os teores de Mn encontrados nos tratamentos orgânicos T3, T4 e T5 estão muito abaixo da média apontada por SOSA (1992), que considera médios os teores foliares entre 671 e 1400 ppm em erva-mate, e muito abaixo também das médias obtidas em outros estudos realizados com erva-mate nativa e plantada (tabela 24). As baixas concentrações constatadas podem ser atribuídas a um efeito de complexação orgânica do elemento. Os demais tratamentos estão sendo favorecidos por condições que disponibilizam o Mn no solo, segundo MALAVOLTA (1997), doses altas de N e K na adubação, em solos ácidos e pobres em matéria orgânica determinam concentração foliar do Mn acima do adequado, e em condições de alta umidade e alto conteúdo de matéria orgânica no solo, determinam concentrações abaixo do nível adequado. Fontes de N amoniacal que produzem acidez no solo, aumentam a absorção de Mn pela planta, o mesmo ocorre quando é aplicado KCl.

A erva-mate é tolerante a altos teores de Mn, conforme pode ser verificado em trabalhos anteriores (tabela 24). REISSMANN *et al.* (1983) encontraram teores de Mn entre 1600 e 2287 ppm. REISSMANN & PREVEDELLO (1992) obtiveram 1087 ppm em folhas de mudas com 1 ano de idade. RADOMSKI *et al.* (1992) constataram variação de 500 a 591 ppm em folhas jovens e 1370 a 1980 ppm em folhas velhas.

Na comparação de médias do teor de Mn pelo teste de Tukey, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos com adubo mineral e os demais, e não houve diferença significativa entre os tratamentos com adubo mineral

e a testemunha (anexo 4). O teste F revelou efeito significativo no contraste entre as fontes de adubação ($P > F$ 0,01) e entre os tratamentos T3 e T4, evidenciando menor teor foliar de Mn no T3, onde a proporção solo:húmus foi 1:1, em relação à T4 e T5, com proporção 2:1, ainda mantendo relação inversa do teor de Mn foliar com a quantidade de matéria orgânica presente no substrato (anexo 5).

Em relação ao Cu, verificou-se que o teor do elemento nas folhas foi mais baixo quando se usou adubo químico. Houve efeito significativo no contraste entre fontes de adubação orgânica e química ($P > F$ 0,00), e, entre os tratamentos com proporção entre solo e húmus de 1:1 e 2:1 (tabela 22). A quase totalidade de Cu solúvel está na forma de complexos com a matéria orgânica. Ocorre a retenção seletiva do Cu^{2+} por ácidos húmicos e fúlvicos em presença de resina trocadora de cátions, realçando a reação entre o elemento e a parte húmica do solo. O Cu complexado com a matéria orgânica vai sendo liberado lentamente (CAMARGO, 1975). Observou-se que a absorção do elemento pela erva-mate foi proporcional ao teor existente no solo (figura 5c e tabelas 19 e 20).

Comparando com os teores médios apresentados na tabela 24, os teores foliares verificados para Cu estão muito abaixo daqueles obtidos em ervais nativos e próximos dos obtidos em ervais plantados. Os maiores teores de Cu foliar foram observados nos tratamentos orgânicos, com médias de 7,0 a 9,2 ppm. REISSMANN *et al.* (1983) encontraram teores de Cu entre 19 e 29 ppm, considerados elevados, REISSMANN & PREVEDELLO (1992) obtiveram 8 ppm em folhas de mudas com 1 ano de idade. RADOMSKI *et al.* (1992) encontraram variação de 14,8 a 32,4 ppm em folhas jovens e 7,7 a 19,7 ppm em folhas velhas. FOSSATI (1997) verificou teores médios variando de 5,0 a 12,0 ppm.

Os teores médios de Zn ficaram acima de 100 ppm em todos os tratamentos analisados, chegando a 173,7 ppm, nas condições em que a proporção de solo e húmus foi de 2:1. Valores médios de 138 ppm, foram encontrados por REISSMANN & PREVEDELLO (1992), em mudas com 1 ano de idade e FOSSATI (1997) observou teores foliares de Zn entre 30 e 158 ppm. Os teores de Zn^{2+} no solo aumentaram significativamente (em torno de 800 %) nos substratos com húmus (tabela 19), contudo, o aumento do teor foliar não foi correspondente (tabela 20 e figura 4 d). Segundo MALAVOLTA (1980), adubos nitrogenados acidificantes possibilitam aumento do aproveitamento do Zn^{2+} , o que explica altos teores nos

tratamentos onde foi aplicado sulfato de amônio. Como o Cu^{2+} , ocorre retenção seletiva do Zn^{2+} por ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica. Os complexos do Zn^{2+} com ácido fúlvico são mais solúveis, o Zn^{2+} é adsorvido e liberado lentamente (FERREIRA & CRUZ, 1991).

Houve efeito significativo no contraste entre a testemunha e os demais tratamentos. Os teores de Zn na testemunha foram muito inferiores, devido à menor quantidade disponível no solo. No contraste entre os tratamentos T3 e T4 também houve efeito significativo, evidenciando novamente que a quantidade de matéria orgânica tem influência na disponibilidade de alguns elementos nutrientes, de acordo com a velocidade da taxa de mineralização. No tratamento onde a proporção de solo e húmus foi de 2:1, os teores dos elementos N, K, Mn, Cu e Zn nas folhas foram maiores, em relação ao substrato com maior quantidade de matéria orgânica (proporção 1:1).

COUTO *et al.* (1985) constataram no eucalipto, ampla faixa entre o suprimento e a toxidez de Zn, com teores tão altos quanto 200 mg/kg, sem que as plantas apresentassem sintomas de toxidez.

4.2.3. Correlações entre Variáveis Químicas

As correlações lineares simples estabelecidas entre as variáveis químicas do conteúdo foliar de erva-mate, são apresentadas na tabela 25.

TABELA 25 - MATRIZ DE CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS QUÍMICAS FOLIARES EM MUDAS DE ERVA-MATE

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	g/kg					ppm			
N (g/kg)	1,00								
P (g/kg)	0,49*	1,00							
K (g/kg)	-0,48*	0,01	1,00						
Ca (g/kg)	0,82*	0,45*	-0,47*	1,00					
Mg (g/kg)	0,92*	0,51*	-0,67*	0,88*	1,00				
Fe (mg/kg)	0,21	0,11	0,10	0,33	0,21	1,00			
Mn (mg/kg)	-0,90*	-0,71*	0,50*	-0,69*	-0,88*	-0,09	1,00		
Cu (mg/kg)	0,72*	0,35	-0,32	0,68*	0,64*	0,25	-0,58*	1,00	
Zn (mg/kg)	0,42*	0,40	0,46*	0,45*	0,19	0,33	-0,25	0,42*	1,00

NOTA: * significativo a 5% de probabilidade GL=24

Houve correlação positiva significativa entre os teores de N e Ca ($r=0,82$), entre N e Mg ($r=0,92$) e entre N e Cu ($r=0,72$). Quanto maior a quantidade de N, maior é a demanda por Cu, uma vez que a planta indisponibiliza muito Cu interno como proteínatos de Cu e aminoácidos, limitando seu uso (MARSCHNER, 1991).

Alta correlação positiva do N com Mg e Cu, reverte em maior desenvolvimento do vegetal. Sabe-se que, entre outras funções, o Mg é constituinte da clorofila e o Cu faz parte da plastocianina, proteína que participa do fluxo de transporte de elétrons da fotossíntese (MALAVOLTA, 1997). Alta atividade de fotossíntese reverte em eficiência na utilização do N pela planta (LARCHER, 1986).

O nível de N foliar aumentou à medida que diminuíram os teores de Mn ($r = -0,90$). Esta relação inversa pode estar relacionada com a baixa disponibilidade de Mn no solo nos tratamentos orgânicos (tabela 19). Os baixos níveis foliares de Mn foram encontrados justamente nos tratamentos com maiores taxas de crescimento, não tendo sido evidenciados sintomas de deficiência de Mn nas plantas.

As relações entre o teor foliar de um nutriente, sua disponibilidade no solo e produção do vegetal, podem variar de acordo com a espécie e o nutriente. RAIJ (1991) afirmou que com o aumento do suprimento do nutriente, o crescimento da planta aumenta, porém, inicialmente ocorre um abaixamento da concentração nos tecidos, devido a um efeito de diluição proporcionado pela produção de material vegetal. Acima do nível crítico, o aumento de concentração não mais corresponde a aumentos de produção ou de crescimento, representando um consumo desnecessário do nutriente.

O P apresentou correlação positiva com o Mg ($r = 0,51$). Plantas com altos teores de Mg aproveitam melhor o P. A absorção do H_2PO_4 é máxima na presença do Mg^{2+} (MALAVOLTA, 1997). A síntese de ATP tem requerimento absoluto de Mg (MARSCHNER, 1991). A erva-mate não tem apresentado resposta ao P, no entanto é importante observar o efeito indireto exercido pela interação com outros elementos.

Observou-se correlação negativa entre K e N, em baixos níveis de K, a resposta ao aumento do suprimento em N é pequena, e em alto suprimento de N a diminuição do rendimento é severa, pois o K auxilia na incorporação do N nos esqueletos carbônicos (MARSCHNER, 1991).

O Mg apresentou expressiva correlação negativa com o K ($r = -0,67$), e com o Mn ($r = -0,88$), conforme ilustra a Figura 7.

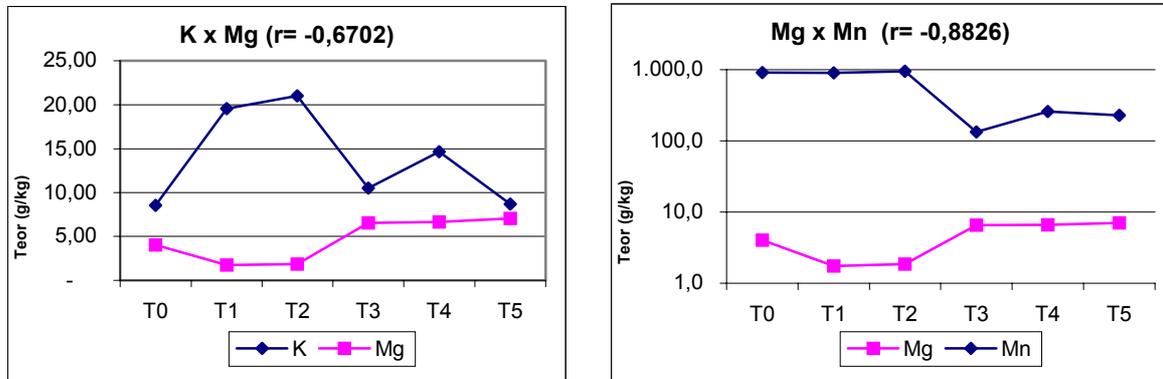


FIGURA 7 - ANTAGONISMOS VERIFICADOS ENTRE TEORES FOLIARES DE Mg x K e Mg x Mn EM PLANTAS DE ERVA-MATE

O teor excessivo de K na planta se manifesta comumente com a deficiência de Mg induzida. É fato decorrente de princípios bem estabelecidos de troca iônica, que a relação entre K, Ca e Mg afetam os teores do primeiro elemento na solução do solo. Quanto maiores os teores de Ca e Mg no solo, menor a disponibilidade de K.

A matéria orgânica presente nos tratamentos com húmus proporcionou maior disponibilidade de Ca e Mg no solo (tabela 19). Por outro lado, o uso de adubo potássico interferiu diretamente no teor de Mg. O K aplicado ao solo compete com o Mg por sítios de absorção nas raízes, diminuindo o teor foliar do Mg. A literatura contém muitas referências ao antagonismo entre Mg e Ca de um lado e Mg e K de outro: o aumento da concentração de um elemento no meio implica na diminuição da absorção do outro. A relação K/Mg na planta geralmente varia entre 7 e 10; sintomas da falta deste elemento podem aparecer se a relação for da ordem de 15 – 20 (MALAVOLTA, 1980). A proporção K/Mg observada foi de 11,1 e 11,3 para T1 e T2 respectivamente.

MARSCHNER (1991), afirmou que a taxa de absorção de Mg pode ser reduzida pela presença no solo de cátions como Ca^{2+} , NH_4^+ , K^+ e Mn^{2+} .

A correlação negativa entre Mg e Mn ($r = -0,88$) se deve ao fato de que a toxicidade de Mn induz a sintomas de deficiência para outros elementos minerais,

como o Mg, Fe e Ca. Na deficiência de Mg, induzida pelo Mn, ocorre competição por sítios de ligação das raízes durante a absorção; o Mn^{2+} não apenas compete com mais eficácia, como também impede os sítios de absorção para Mg^{2+} . Em comparação, a absorção do K é apenas levemente afetada pelo aumento da concentração de Mn^{2+} . Assim, a toxicidade do Mn pode ser neutralizada com grande suprimento de Mg^{2+} (MARSCHNER, 1991).

O Ca apresentou correlação positiva significativa com Mg ($r = 0,88$) e Cu ($r = 0,68$), e correlação negativa com Mn ($r = - 0,69$).

4.3. VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS

4.3.1. Análise das Variáveis Morfológicas de Crescimento

As variáveis morfológicas representam o desenvolvimento da planta no período do experimento. Constatou-se que a adubação das plantas de erva-mate resulta em uma resposta diferenciada nas plantas, para os dois grupos, adubação química e orgânica. Foram realizadas análises de variância das variáveis morfológicas em função dos tipos de adubação e a sumarização das comparações das médias dos parâmetros altura, diâmetro e massa seca foliar, entre os diferentes tipos de adubação, pelo teste de Tukey (5%), que estão na tabela 26 (anexo 6 e 7), e os resultados do teste F para contrastes na tabela 27 (anexo 8).

Conforme esperado, a adubação orgânica propiciou maiores índices de crescimento em plantas de erva-mate, para todas as variáveis morfológicas consideradas. Teores altos de matéria orgânica são favoráveis ao desenvolvimento da cultura (SOSA, 1994).

TABELA 26 - TESTE DE MÉDIAS DAS VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS APLICADOS EM MUDAS DE ERVA-MATE

Tratam	Altura (cm)		Diâmetro de Colo (mm)		Massa Seca Total (g)		Massa Seca Foliar (g)	
	Média		Média		Média		Média	
T4	77,61	a	1,93	a	6,08	a	3,81	b
T5	74,64	a	1,45	b	6,45	a	4,56	ab
T3	61,81	ab	1,38	bc	7,05	a	5,02	a
T1	58,71	ab	1,36	bc	4,35	b	2,61	c
T2	47,68	bc	1,10	bc	3,34	b	1,93	c
T0	30,24	c	0,99	c	3,27	b	1,82	c

NOTA: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 27 - VALOR DE F PARA OS CONTRASTES ENTRE OS DIFERENTES TIPOS DE ADUBAÇÃO APLICADOS

Contrastes	ALT	DIA	MSF
T0 vs demais	0,01	0,02	0,01
T1 vs T2	0,51	0,28	0,63
T3 vs T4	0,32	0,03	0,12
T1T2 vs T3T4	0,15	0,02	0,00
T4 vs T5	0,84	0,05	0,32

A figura 8 apresenta o crescimento relativo em altura, diâmetro de colo, matéria seca foliar e matéria seca da parte aérea; de todos os tratamentos sob diferentes formas de adubação, em relação à testemunha. As maiores médias para altura e diâmetro de colo foram obtidas no tratamento T4, e as maiores médias para massa seca foliar e massa seca total da parte aérea, no tratamento T3.

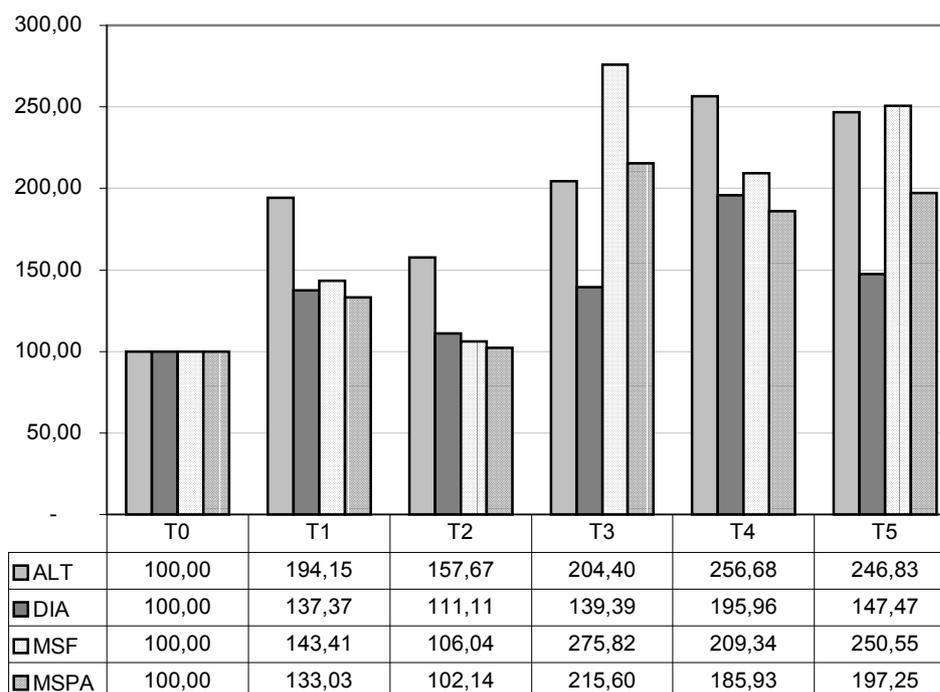


FIGURA 8 - CRESCIMENTO RELATIVO EM ALTURA (ALT), DIÂMETRO DE COLO (DIA), MASSA SECA FOLIAR (MSF) E MASSA SECA TOTAL DA PARTE AÉREA (MST), EM RELAÇÃO À TESTEMUNHA, NOS TRATAMENTOS SOB DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO

A altura total das mudas apresentou uma variação de 156,7%, tendo sido registrada uma média mínima de 30,2 cm de altura na testemunha, e uma média máxima de 77,6 cm no tratamento T4.

Os tratamentos T4 e T5 apresentaram as maiores médias de altura, não ocorrendo diferença estatística significativa entre os mesmos. Embora no tratamento T5 tenham sido adicionados 75 ppm de P mineral ao substrato com matéria orgânica, a resposta de crescimento não foi significativa, indicando que as quantidades de P que a erva-mate exporta são mínimas. Esta confirmação pode ser obtida a partir de pesquisas onde sejam testados níveis mais baixos de P. O resultado do teste F para contraste entre T4 vs T5 também não foi significativo ($P > F 0,84$).

Nos tratamentos T3, T4 e T5, em que foram misturados composto orgânico e solo, observaram-se as maiores concentrações foliares de fósforo. Embora estes tratamentos tenham apresentado as maiores taxas de crescimento em altura, não

existem evidências da influência sobre a produtividade de erva-mate, em função dos altos teores do fósforo observados nas condições deste experimento. No entanto, o elemento poderá ser utilizado em períodos vegetativos subsequentes, visto que, de acordo com KIEHL (1985), o fósforo, na presença de húmus, pode manter-se disponível por longos períodos, sendo aproveitado em outros ciclos. REISSMANN *et al* (1985), observaram aumento considerável dos elementos N, P e K nas folhas nas épocas de floração e brotação e uma queda sensível e constante de P nas folhas, coincidindo com o período de formação e maturação dos frutos.

Os tratamentos T1 e T2 foram estatisticamente semelhantes ao tratamento T3. No entanto, observa-se a superioridade do crescimento em altura com o uso do húmus. O resultado do teste F para contraste da variável altura evidencia a eficiência da adubação orgânica no desenvolvimento da planta. O contraste T1T2 vs T3T4 é considerado significativo com 15% de probabilidade ($P > F$ 0,15). O contraste entre a testemunha e os demais tratamentos é significativo a 1% ($P > F$ 0,01).

O maior crescimento em altura nos tratamentos T3 e T4 pode estar sendo favorecido, de forma geral, pela melhoria das condições físicas do solo e aumento da capacidade de retenção de água, que o húmus proporciona, considerando que a erva-mate requer solos úmidos e bem drenados (CARVALHO, 1994; PICOLLO, 1996).

As médias do diâmetro de colo entre os diferentes tipos de adubação, foram comparadas pelo teste de Tukey (5 %). Os resultados estão na tabela 26 (anexo 7). O diâmetro de colo apresentou médias que variaram de 0,99 mm para a testemunha até 1,93 mm para o tratamento com solo e húmus na proporção 2:1 (T4), registrando uma variação de aproximadamente 95,9%.

A maior média foi obtida no tratamento T4, estatisticamente diferente das demais, seguido pelo T5 e T3. Novamente, a adição suplementar de P (tratamento T5) não resultou em aumento de crescimento, sendo que a média de diâmetro de colo neste tratamento foi menor em relação ao tratamento onde não foi adicionado P. Esta diferença foi significativa ($P > F$ 0,05%).

Mesmo com menor quantidade de matéria orgânica no substrato, e com menores quantidades de minerais disponíveis quando comparado com T3, o T4 teve maior média do diâmetro de colo em relação ao T3, fato que se confirma com o

resultado do teste F para contraste, onde o contraste entre T3 vs T4 apresentou diferença estatística ao nível de 3% ($P > F$ 0,03).

Houve diferença estatística significativa no contraste entre a testemunha e os demais tratamentos ($P > F$ 0,02) e entre os grupos T1T2 vs T3T4 ($P > F$ 0,02).

Para a variável massa seca total da parte aérea, houve diferença estatística entre os grupos de tratamentos que definem o tipo de adubação orgânica e química, sendo que os tratamentos orgânicos apresentaram as maiores médias. O tratamento T3 apresentou a melhor produção de MSPA (figura 6), com uma diferença de cerca de 115% em relação à menor produção obtida (testemunha). Conforme esperado, a melhoria das condições físicas do solo e maior disponibilidade de nutrientes, proporcionadas pela matéria orgânica, se traduz em melhor desenvolvimento das plantas (BUCKMAN & BRADY, 1983; KIEHL, 1985; PRIMAVESI, 1991).

Segundo SOSA (1994), o nível adequado da produtividade em erva-mate, está correlacionado com teores de matéria orgânica no solo entre 2,71% e 3,50%. O autor observou um aumento significativo do rendimento de massa seca em erva-mate, diretamente relacionado com os níveis de M.O., N e Mg no solo.

A variável MSF apresentou maiores médias nos tratamentos com solo e húmus na proporção 1:1 (T3) e 2:1 acrescido de P (T5), respectivamente, sem diferença estatística significativa entre os mesmos. Neste caso, a maior quantidade de húmus no substrato permitiu maior produção de massa foliar, possivelmente em função da influência do N. Observando-se a morfologia das mudas, ocorre aumento visível do número de brotações nos tratamentos que tiveram húmus.

O N tem uma estreita relação com a síntese e o transporte das citocininas que promoverão a emissão de brotos na planta. A fonte nitrogenada usada exerce influência sobre o transporte da citocinina, tendo sido verificado, em experimentos anteriores maior eficiência quando foi usado N sob forma amoniacal, em relação ao nitrato (MARSCHNER, 1991).

A síntese e transporte de citocininas são também afetados pelo suprimento do P e K, embora o efeito não seja tão proeminente quanto o do N (MARSCHNER, 1991).

Mudas de erva-mate, produzidas com esterco de bovino e terra de superfície (200 cm^3 de esterco para cada 600 cm^3 de terra de superfície), apresentaram maior produção de matéria seca (LOURENÇO *et al.*, 1999).

O teste F para contraste (tabela 27) mostrou diferença significativa entre a testemunha e os demais tratamentos ($P > F$ 0,01). No caso, a deficiência acentuada de nutrientes no solo provoca grave diminuição da produção de massa foliar. O contraste entre os grupos T1T2 vs T3T4 também teve significância ($P > F$ 0,00), confirmando que a utilização de húmus promove o aumento da produtividade, seja da variável MSF, como da ALT e DIA. No contraste entre T3 e T4, o resultado ($P > F$ 0,12) segue a tendência de aumento da MSF, no tratamento com maior quantidade de húmus. A adição de fósforo ao húmus não se traduziu em resultados compensatórios para MSF, conforme observado no contraste T4 vs T5 ($P > F$ 0,32).

4.3.2. Correlações entre Variáveis Morfológicas e Variáveis Químicas Foliaves

As correlações lineares simples, estabelecidas entre as variáveis morfológicas de crescimento e as variáveis químicas foliares da erva-mate, são apresentadas na tabela 28.

TABELA 28 - RESULTADOS DAS CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E VARIÁVEIS QUÍMICAS FOLIARES EM MUDAS DE ERVA-MATE

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	
	g/kg					mg/kg				
ALT	0,41*	0,59*	-0,06	0,21	0,31	-0,30	-0,50*	0,32	0,31	
DIA	0,47*	0,52*	-0,07	0,20	0,32	-0,34	-0,51*	0,36	0,26	
MSF	0,58*	0,68*	-0,47*	0,44*	0,64*	-0,18	-0,77*	0,32	-0,00	

NOTA: * Significativo à 5% de probabilidade (GL=24)

O N é de grande importância nutricional para erva-mate. A sua carência acarreta diminuições significativas no crescimento. FOSSATI (1997) observou em sítios com baixos níveis de N, menor crescimento em altura. Para o autor, o N contido nas folhas de erva-mate influenciou as variáveis de produtividade, altura total e altura da copa. Considerou existir distúrbio nutricional nos sítios de menor crescimento em altura, devido aos baixos níveis de N.

Existe relação estreita entre o suprimento de N e incremento da biomassa, decorrente de maior eficiência de fotossíntese pela planta, como também em processos relacionados a fitohormônios. A energia e estrutura molecular, requeridas para incorporação do N, são provenientes do metabolismo do carbono C (da fotossíntese). Na incorporação do nitrato, ocorre redução para nitrito, que será convertido em amônia. Pela redutase do nitrito, a amônia é incorporada em glutamato para formar glutamina, por ação do sistema GS-GOGAT. A formação do glutamato depende da glicólise. Se a planta não está fazendo fotossíntese de forma eficiente, não há formação de ácidos orgânicos e glutamato, e conseqüentemente, a incorporação da NH_4^- é prejudicada (LARCHER, 1986).

LOURENÇO *et al.* (1997) aplicando diferentes doses de adubo nitrogenado, observaram que a menor dosagem de uréia aplicada (75 g/planta) já alcança 89% da produção máxima obtida pela maior dosagem (225 g/planta).

As variáveis ALT, DIA e MSF mostraram tendência de aumento, com o aumento dos nutrientes N e P, com correlações positivas, de onde conclui-se que o N, nas condições deste experimento, foi o elemento mais limitante para a produção de massa foliar na erva-mate.

Observou-se correlação positiva significativa entre MSF e Mg ($r=0,64$).

O Mn apresentou correlação negativa significativa com MSF ($r = -0,77$).

Altos teores de Mn foram encontrados nos tratamentos T0, T1 e T2, onde se observaram menores taxas de crescimento nas variáveis morfológicas, podendo estar ocorrendo efeito de concentração do elemento. A ocorrência de altos teores de Mn em erva-mate não significa que o elemento possui função de crescimento, demonstra apenas alta tolerância da espécie ao acúmulo nas folhas, sem apresentar efeito tóxico, promovido pela alta disponibilidade no solo. O enriquecimento com Mn e Al pode se dar em espécies tolerantes, que complexam estes elementos nas raízes translocando-os para as folhas, onde permanecem inativos (MARSCHNER, 1991).

Trabalhos anteriores revelaram altos teores de Mn nas folhas de erva-mate, sem, contudo, mostrar evidências de provocar efeito tóxico nas plantas. (REISSMANN *et al.*, 1983; REISSMANN & PREVEDELLO, 1992; RADOMSKI *et al.*, 1992; FOSSATI, 1997).

As variáveis ALT, DIA e MSF não apresentaram correlações significativas com os elementos Cu e Zn.

4.4. CAFEÍNA E TANINOS

4.4.1. Resultados das Determinações de Cafeína e Taninos nas Folhas

Na figura 9 (anexo 9) são apresentados os resultados obtidos para o teor foliar de cafeína e taninos em plantas de erva-mate submetidas à adubação nas condições do presente experimento. Houve aumento de cerca de 85% do teor de cafeína para os tratamentos com adubação orgânica.

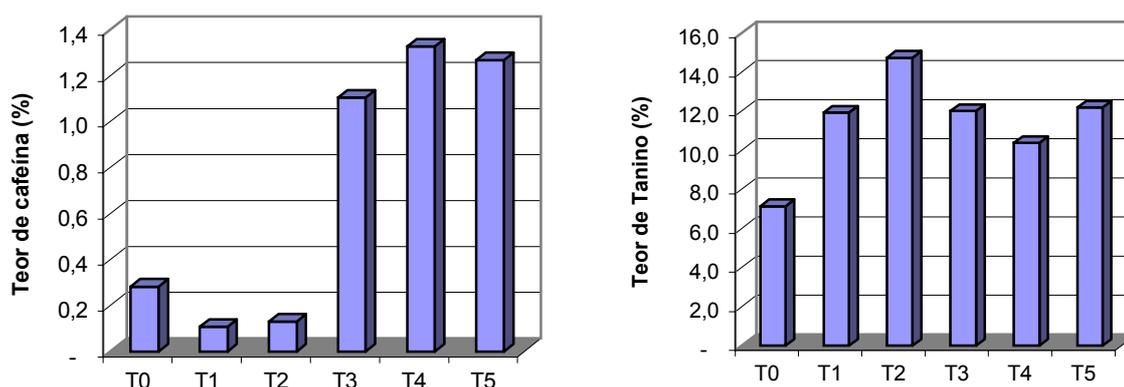


FIGURA 9 - RESULTADOS DOS TEORES FOLIARES DE CAFEÍNA E TANINOS EM PLANTAS DE ERVA-MATE SUBMETIDAS À ADUBAÇÃO

As médias obtidas na determinação do teor de cafeína e taninos em folhas de erva-mate foram comparadas pelo teste de Tukey (anexo 10) e teste F de contrastes, os resultados são apresentados nas tabelas 29 e 30.

Foi constatada diferença estatística significativa para os teores foliares de cafeína, considerando as diferentes forma de adubação. Houve forte influência da presença da matéria orgânica no aumento do teor foliar de cafeína e as médias variaram de 1,10 a 1,32 % nos tratamentos orgânicos. Os tratamentos onde foi aplicado N-P-K apresentaram as menores médias, entre 0,11 e 0,28%, as quais não tiveram diferença estatística em relação à testemunha.

TABELA 29 - TESTE DE MÉDIAS PARA OS TEORES FOLIARES DE CAFEÍNA E TANINOS EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS APLICADOS EM MUDAS DE ERVA-MATE

Cafeína (%)			Taninos (%)		
Tratamento	Média		Tratamento	Média	
T4	1,32	a	T2	14,73	a
T5	1,27	a	T5	12,19	ab
T3	1,10	a	T3	12,00	ab
T0	0,28	b	T1	11,92	ab
T2	0,13	b	T4	10,36	ab
T1	0,10	b	T0	7,14	b

NOTA: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 30 - VALOR DE F PARA OS TESTES DE CONTRASTES ENTRE OS DIFERENTES TIPOS DE ADUBAÇÃO APLICADOS

Contrastes	Cafeína	Taninos
T0 vs demais	0,00	0,00
T1 vs T2	0,90	0,12
T3 vs T4	0,21	0,64
T1T2 vs T3T4	0,00	0,09
T4 vs T5	0,74	0,30

A literatura não apresenta referências a respeito da variação do teor de cafeína em plantas de erva-mate, relacionada às condições de fertilidade do solo. Sabe-se, por experiência, que ocorrem variações no sabor e na composição química, quando se comparam produtos cultivados sob diferentes formas de manejo, mas ainda não se estabeleceram correlações entre os teores destes componentes com o metabolismo fisiológico das plantas de erva-mate.

DA CROCE (2000) constatou diferença significativa no teor de cafeína com relação à época de coleta das amostras, com médias oscilando entre 0,19g/100g nos meses de setembro, outubro e novembro, período em que inicia a brotação, e 1,46 g/100g nos meses de fevereiro e março.

DONADUZZI *et al.* (2000), apontam a necessidade de estabelecer controle dos compostos químicos da erva-mate, principalmente os que influenciam as

características comerciais do produto. Os autores observaram variação de 0,53% de cafeína em amostra comercial da região de Guarapuava, e 0,95% em amostra comercial originária de Toledo.

Quando comparadas diferentes formas de cultivo, evidentemente guardadas as devidas restrições em função de diferenças de metodologia, os resultados obtidos para cafeína apresentaram relação de similaridade entre plantas cultivadas com adubo químico a pleno sol, plantas cultivadas em condições de até 50% de sombreamento e as nativas a pleno sol. Sob estas três formas de cultivo, as plantas de erva-mate apresentaram mesma tendência de teores baixos de cafeína nas folhas. Já as plantas nativas sombreadas e aquelas cultivadas com adubação orgânica, mas a pleno sol, apresentaram teores de cafeína mais elevados (tabela 31).

TABELA 31 - COMPARAÇÃO ENTRE TEORES DE CAFEÍNA EM PLANTAS DE ERVA-MATE SOB DIFERENTES FORMAS DE CULTIVO

Forma de Manejo	Cafeína (%)
*Adubação orgânica com húmus de minhoca	1,10
*Adubação mineral com N-P-K	0,12
**Erva-mate nativa sob 7% de sombreamento	0,23
**Erva-mate nativa sob 95% de sombreamento	1,43
***Erva-mate cultivada sob 0% de sombreamento	0,26
***Erva-mate cultivada sob 50% de sombreamento	0,30

* Plantas com 1 ano em vasos a pleno sol (nas condições deste experimento)

** Plantas adultas sob condições naturais em sub bosque (COELHO *et al.*, 2000)

*** Plantas com 1 ano e meio (COELHO *et al.*, 2000)

FONTE: Dados adaptados de COELHO *et al.* (2000) e obtidos no presente experimento.

Teores médios de cafeína diminuíram, quando se compararam folhas novas e folhas velhas de erva-mate de uma mesma árvore, sendo observada uma variação em torno de 2,39% a 0,68% (PAULA, 1968).

A cafeína contida nos tecidos de plantas de mate pode estar associada com uma total atividade celular, e tecidos novos podem apresentar alto conteúdo de cafeína, quando comparados a plantas adultas ou tecidos maduros

(ASHIHARA, 1993; ¹³HERNDLHOFER, 1933; ¹⁴RAJU & GOPAL, 1979, citados por MAZZAFERA, 1994). MAZZAFERA (1994), encontrou a mesma tendência e observou maiores níveis de cafeína em folhas jovens (0,91%) e frutos imaturos (0,038%), em relação a folhas velhas (0,54%) e frutos maduros (0,013%). A razão entre metilxantinas de folhas novas e velhas em plantas a pleno sol foi de 5,8 e 15,8, respectivamente.

Existe a suposição de que, sob condições de alta demanda de nitrogênio, os átomos de nitrogênio, que constituem a cafeína, podem estar sendo usados como um recurso para a planta (PETERMANN & BAUMANN, 1983). Mas, para MAZZAFERA (1990), o seu conteúdo é reflexo direto do nível de nitrogênio, variando como parte integrada do metabolismo de compostos nitrogenados da planta e em função do fornecimento deste elemento. O termo alcalóide é muito usado e comumente aplicado por compostos orgânicos nitrogenados de plantas que são ativas fisiologicamente. Usualmente contém um átomo de N que pode existir como amina primária (RNH_2), amina secundária (R_2NH) ou terciária (R_3N) (TYLER *et al.*, 1988).

Os teores encontrados nos tratamentos com adubação mineral foram muito abaixo da maioria dos resultados observados para a espécie na literatura. Algumas pesquisas verificam a relação entre o teor de nitrogênio disponível e o teor de alcalóides na planta, por exemplo, CLOUGHLEY (1982) observou que no chá (*Camelia sinensis*), o teor de cafeína variava em função do nível de nitrogênio na planta, durante o ano. Em café, a relação cafeína-nitrogênio também foi observada (BEAUDIN-DUFOUR & MULLER, 1971; MAZZAFERA, 1999). De acordo com MAZZAFERA (1999), como os alcalóides contêm compostos nitrogenados, baixos teores de cafeína são esperados em tratamentos com menor disponibilidade de N. Embora com algumas exceções, muitas pesquisas têm apresentado aumento no conteúdo de alcalóides com fertilização nitrogenada (WALLER & NOWACKI, 1978).

Os resultados obtidos nos tratamentos minerais podem ser explicados com base na biossíntese da cafeína, onde, segundo TYLER *et al.* (1988) os átomos de

¹³ HERDLHOFER, E.A. Distribuição das proteínas, da cafeína, dos mono-amino-ácidos e dos di-amino-ácidos no cafeeiro e as variações da porcentagem destas substâncias no percurso de um ano. Bol. de Agric. De São Paulo, 34:163-251, 1933.

¹⁴ RAJU, K.I.; GOPAL, N.H. Distribution of caffeine in arabica and robusta coffee plants. Journal of Coffee Research, 9:83-90, 1979.

carbono 2 e 8 derivam do formiato ou de algum composto que pode originar um ativo fragmento de carbono-1 (serina, glicina, formaldeído e metanol). Estes novos compostos, como a metionina, são precursores ativos dos grupos N - methyl da molécula. Átomo do carbono 6 é derivado de dióxido de carbono, os carbonos 4 e 5 com o nitrogênio e o carbono 7, são derivados da glicina. O átomo de nitrogênio na posição 1 deriva do ácido aspártico, mas os da posição 3 e 9 são originados do N-amida da glutamina. Conforme considerações feitas neste estudo, as plantas não foram eficientes na absorção da amônia proveniente da fertilização, e, conseqüentemente não houve formação de glutamina.

A figura 10 apresenta um comparativo entre os teores foliares obtidos para cafeína e taninos e os dados obtidos para N, P e K. Observa-se a relação diretamente proporcional entre o teor de cafeína com o teor de nitrogênio nas folhas de erva-mate.

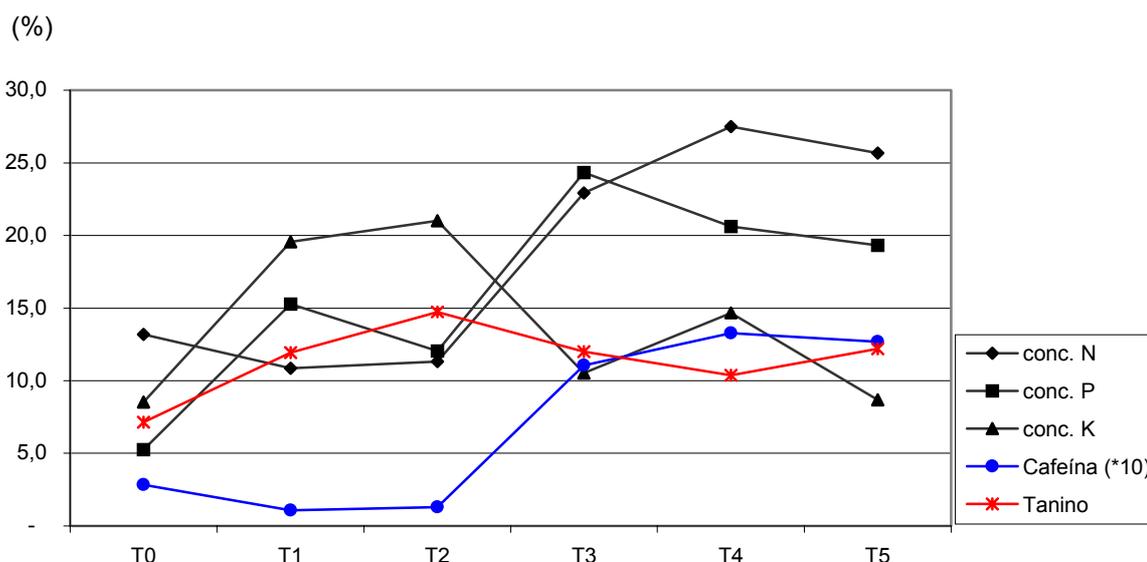


FIGURA 10 - COMPORTAMENTO DOS TEORES FOLIARES DE N, P e K EM RELAÇÃO AOS TEORES FOLIARES DE CAFEÍNA E TANINOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE, EM TRATAMENTOS SOB DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO.

O teor de taninos variou de um mínimo de 7,1% a um máximo de 14,5%, nos tratamentos T0 e T2, respectivamente. Os dados obtidos para taninos revelam diferença estatística significativa apenas para estes dois tratamentos.

Nas condições deste experimento, a forma de adubação utilizada não apresentou influência no teor de taninos, cuja média foi de 12%. Não foram encontrados na literatura, dados relacionados ao teor de tanino em diferentes condições de sítio ou para diferentes condições de fertilidade de solo. PAULA (1968), constatou que o teor de taninos nas folhas de erva-mate varia em função da idade das folhas e da época de coleta do material.

4.4.2. Correlações Entre Teores de Cafeína e Taninos com Variáveis Morfológicas e com Variáveis Químicas Foliaves.

As correlações lineares simples, estabelecidas entre os teores de cafeína e tanino com as variáveis morfológicas de crescimento e as variáveis químicas foliaves da erva-mate, são apresentadas na tabela 32.

TABELA 32 - RESULTADOS DAS CORRELAÇÕES ENTRE TEORES DE CAFEÍNA E TANINOS COM VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E VARIÁVEIS QUÍMICAS FOLIARES EM MUDAS DE ERVA-MATE

	ALT	DIAM	MSF	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	Cm	mm	G	g/kg					mg/kg			
Cafeína	0,32	0,41*	0,53*	0,99*	0,44*	-0,49*	0,81*	0,90*	0,20	-0,89*	0,67*	0,42*
Tanino	-0,10	-0,12	-0,05	0,03	0,15	-0,47*	-0,02	-0,13	0,41*	-0,03	-0,05	0,38

NOTAS: * Significativo à 5% de probabilidade (GL=24)

Houve alta correlação da cafeína com o nitrogênio foliar ($r=0,99$), o que significa que o teor de cafeína na planta é diretamente proporcional ao nitrogênio disponível, variando de acordo com o fornecimento do elemento. Isto é confirmado também por trabalhos anteriores realizados para café e chá (CLOUGHLEY, 1982; BEAUDIN-DUFOUR & MULLER, 1971; MAZZAFERA, 1999; WALLER & NOWACKI, 1978).

Verificou-se uma relação inversamente proporcional entre o teor de cafeína nas folhas e com K foliar. Embora os mecanismos que regem a interação de alcalóides com minerais não sejam ainda muito claros, alguns trabalhos revelam que a redução de K geralmente resulta em aumento da porcentagem de alcalóides em

plantas, atestam ainda que o efeito do P é contrário ao efeito do K, MAZZAFERA (1999), afirma que o conteúdo de cafeína em café é nivelado pelas condições de nutrição mineral.

YUN *et al.* (1999) observaram que fertilização com K e Mg aumentou o teor de cafeína em folhas de chá (*Camelia sinensis*).

O papel da cafeína, bem como de outros alcalóides na fisiologia, ainda é desconhecido. Foram obtidas correlações importantes para a cafeína nas condições deste experimento, evidenciando a influência de alguns fatores sobre o teor deste alcalóide. Entretanto, pesquisas específicas devem ser realizadas, principalmente com erva-mate, dada a sua importância para esta espécie.

Observou-se correlação negativa no teor foliar de taninos com teor foliar de K. Esta correlação é evidenciada principalmente pela adição de KCl nos tratamentos T1 e T2. RACHWAL *et al.* (2000), obtiveram maiores teores de taninos na erva-mate, em sítios com menores teores de K, tanto no solo como nas folhas.

5. CONCLUSÕES

A variação do tipo de adubação em mudas de erva-mate resulta em diferente resposta fisiológica nas plantas, determinando níveis de produtividade diferenciados.

A adubação com matéria orgânica proporcionou um aporte no crescimento em altura, diâmetro e matéria seca foliar, sendo significativamente superior a testemunha (sem adubação) e a métodos convencionais de adubação química.

Pelas análises efetuadas neste trabalho, constatou-se que:

- A modificação das condições de fertilidade do solo provocou grandes variações no desenvolvimento de plantas de erva-mate;
- A proporção 2:1 de solo:húmus de minhoca traduziu-se em melhores resultados para altura e diâmetro de colo nas mudas de erva-mate. Os teores foliares médios dos elementos N, K, Cu e Zn também foram maiores no substrato com matéria orgânica em menor quantidade (proporção 2:1);
- A quantidade de matéria orgânica apresentou um limite de fertilização, acima do qual, não resultou em rendimento para a cultura;
- Variação nas doses de P não se traduziu em ganho de produtividade para a erva-mate;
- Na comparação entre tratamentos orgânicos e químicos, a variação do teor foliar dos elementos N, P, K, Ca, Mg, Mn e Cu foi significativa, sugerindo que a matéria orgânica favorece a disponibilidade no solo e absorção pela planta; e,
- Os teores de cafeína foram significativamente maiores nos tratamentos que tiveram em seu substrato húmus de minhoca, como componente orgânico, em relação aos demais tratamentos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um aspecto importante considerado foi o desenvolvimento de estudos das inter-relações que ocorrem entre os nutrientes. As inter-relações entre dois nutrientes são especialmente importantes quando os níveis de ambos estão próximos de deficiências, sendo que o aumento de suprimento de apenas um dos minerais, que estimule o crescimento, poderá induzir a deficiência de outro. As relações mais evidentes observadas neste experimento foram entre os elementos Cu x N, P x Fe, Mg x K, Mg x Mn. Os elementos Zn e Cu foram indisponibilizados para as plantas, provavelmente, devido a complexação com compostos orgânicos. Entre o K e Mg ocorre concorrência por sítios de absorção das raízes, e observou-se a manifestação de antagonismo entre estes elementos.

Resultados de pesquisas anteriores apontam que a quantidade de P que a erva-mate exporta são mínimas. Tudo indica que a mesma, sendo adaptada a solos ácidos, apresenta boa eficiência de absorção de P.

Como não houve diferenças entre os tratamentos, mesmo com a redução do P, este resultado permite fazer a recomendação de que sejam testados níveis mais baixos de P para a erva-mate, com objetivo de achar o ótimo.

A utilização de um componente orgânico na adubação de erva-mate proporcionou ganhos significativos no desenvolvimento das mudas, resultado da alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do substrato.

O N teve influência em dois processos, os quais, do ponto de vista de adubação em erva-mate, são considerados relevantes: o aumento das brotações, fator principal do manejo destas plantas, cujo objetivo é a produção de folhas e ramos finos, e a relação com os teores de cafeína.

O maior desenvolvimento das plantas nos tratamentos orgânicos era esperado, devido principalmente ao N, o qual tem uma relação linear com o crescimento de vegetais. Além de estimular o crescimento, o N propiciou aumento visível na quantidade de brotações e conseqüente aumento de massa foliar. No entanto, os resultados foram prejudicados devido a uma intensa queda de folhas que ocorreu durante o período vegetativo, em função do ataque de ampola da erva-mate (*Gyropsylla spegazziniana*) nas mudas. Embora os dados de ataque não tenham

sido analisados estatisticamente, observou-se visualmente que a praga atingiu principalmente os tratamentos adubados organicamente, apresentando como consequência danos no desenvolvimento de brotações do período e inibição do crescimento. Este fato influencia os resultados do crescimento em altura e peso de massa seca, embora a tendência de desenvolvimento, para todos os tratamentos, tenha se mantido proporcional.

Foi evidente a influência do N sobre o aumento do teor de cafeína, observado nos tratamentos com húmus, nas condições deste experimento. A cafeína tem sido alvo de muitas pesquisas no setor ervateiro, objetivando-se identificar os teores e elucidar os processos relacionados ao seu metabolismo. Esta variação entre as diferentes fontes de adubação demonstra que fatores externos influenciam os processos fisiológicos, no entanto, estes fatores podem ser controlados, desde que se identifique seu grau de interferência. Uma vez identificados os agentes influenciadores, pode-se estabelecer critérios de seleção de plantas de erva-mate destinadas a fins que pretendem altos teores de cafeína, como por exemplo, para o uso na indústria farmacêutica e de cosméticos; ou de plantas com baixos teores.

Em relação às diferentes formas de adubação em erva-mate, confirmou-se que estas configuram variações na sua composição química, que irão interferir diretamente na qualidade do produto final e, conseqüentemente, no seu valor nutricional como alimento. A caracterização e o controle destas fontes de variação, durante o cultivo a campo, irão fornecer subsídios para a indústria na obtenção de produtos padronizados.

Em face da variação observada no teor de cafeína, sugere-se investigações específicas que correlacionem não somente os teores destes compostos, mas de outros componentes químicos, com o sistema de manejo empregado no cultivo de erva-mate, considerando ervais nativos, adensados e cultivados em sistema de monocultura, em função de variedades distintas.

Tendo em vista que a principal função fisiológica dos taninos e da cafeína na planta é de proteção, poderão ser correlacionados teores destes componentes com ocorrência de fungos e pragas, em sistemas diferenciados de manejo.

Dadas as variações que ocorrem nas características, tanto de crescimento como fisiológicas, em função da adubação em erva-mate, recomendam-se

investigações em campo para dar continuidade ao estudo e avaliar a influência de fatores externos.

Salienta-se que estudos sobre a variação genética em erva-mate são de extrema importância, sendo que os resultados podem se alterar significativamente, em relação a teores de elementos como cafeína e taninos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANDA, D. **Área de distribución natural de la yerba mate**. Cerro Azul: INTA, Estacion Experimental Agropecuaria Misiones, 1986. (Miscelanea, 14).

ASHIHARA, H. Purine metabolism and the biosynthesis of caffeine in maté leaves. **Phytochemistry**, Tokyo, v. 33, n. 6, p. 1427-1430, fev. 1993.

BARROS, N. F. *et al.* Níveis críticos de Ca e K no solo para o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., 1981, Salvador. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. p. 92.

BEAUDIN-DUFOUR, D.; MULLER, L. E. Effet de la radiation solaire et de l'âge sur le contenu en caféine et en azote des feuilles et des fruits de trois espèces de caféiers. **Turrialba**, Costa Rica, v. 21, p. 387-392, jul. 1971.

BELLOTE, A. F.; STURION, J. A. Deficiências minerais em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.): resultados preliminares. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1983, Curitiba. **Silvicultura da erva-mate**. Curitiba, 1985. p. 124-128.

BERTONI, M. H. *et al.* Fresh leaves of *Ilex paraguariensis*. **An. Assoc. Química Argentina**, v. 8, n. 1-3, p. 75-81, 1992.

BRAGAGNOLO, N.; PAN, W.; KOSLOWSKI FILHO, L. **Manual técnico de erva-mate**. Curitiba: Associação de Crédito Rural do Paraná, 1980.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 234/98 de 25/03/1998. **Diário Oficial da União**, Brasília/DF, 29 jun 1998.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, C. N. **Natureza e propriedades dos solos**: compêndio universitário sobre edafologia: 6. ed. Tradução de: Antonio B. Neiva Figueiredo Filho. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983.

BUHRER, N. E. Sobre a padronização de um método prático para a dosagem da cafeína (em erva-mate). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 1, p. 177-180, 1946.

CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: La Libreria e Herba, 1975.

CAMPOS, M. A. A. **Balanco de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis***: avaliação na safra e na safrinha. Curitiba, 1991. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CARPANEZZI, A. C. Cultura da erva-mate no Brasil: conflitos e lacunas. In: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL, 1., 1995, Porto Alegre. **Erva-mate, biologia e cultura no Cone Sul**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995. p. 43-46.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Curitiba: EMBRAPA/CNPFFlorestas, 1994.

CLOUGHLEY, J. B. Factors influencing the caffeine content of black tea: the effect of field variables. **Food Chemistry**, v. 9, p. 269-876, 1982.

CLIFFORD, M. N.; RAMIREZ-MARTINEZ, J. R. Chlorogenic acids and purine alkaloids contents of mate leaf and beverage. **Food Chemistry**, v. 35, p. 13-21, 1990.

COELHO, C. G. *et al.* Efeito do sombreamento sobre a sobrevivência, morfologia e química da erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p.396-399.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994.

CORREIA, D. **Mate solúvel**. Curitiba, 1958. 65 f. Tese (Concurso para 5ª cadeira Química Orgânica e Tecnologia Rural) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura e Veterinária do Paraná.

COSTA, S. G. **A erva-mate**. Curitiba: Cientia et Labor, 1994.

COUTO, L.; GOMES, J.M.; PEREIRA, A.R. Uso de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, p.58-65, 1985.

DA CROCE, D. M. Características físico-químicas da erva-mate no Estado de Santa Catarina. In. CONGRESSO SUL AMERICANO DE ERVA-MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE,3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 77-79.

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/CNPFFlorestas, 1997. p. 351-357.

DA CROCE, D. M.; NADAL, R. Viabilidade técnico-econômica de sistemas de produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) consorciada com culturas anuais. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v. 2, p.403-407.

DIAS, L. E.; ALVAREZ, V. H.; BRIENZA JR., S. Formação de mudas de *Acacia mangium* W.: resposta a nitrogênio e potássio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 11-22, jan./abr. 1991.

DIAS, L. E.; ALVAREZ, V. H.; BRIENZA JR., S. Formação de mudas de táxi branco: resposta a nitrogênio, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 135-143, mai./ago. 1992.

DONADUZZI, C. M. *et al.* Teores de cafeína, polifenóis totais e taninos em amostras de erva-mate comercializadas na região de Toledo/PR. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p.158-161.

EDWIN, G.; REITZ, R. **Aquifoliaceas**. Itajaí: [s. n.], 1967. (Flora Ilustrada Catarinense).

EMATER - Paraná. **Manual da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Curitiba, 1991.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979.

EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. New York: John Wiley & Sons, 1972.

ETENG, M. U. *et al.* Recent advances in caffeine and theobromine toxicities: a review. **Plant Foods for Human Nutrition**, Netherlands, v. 51, p. 231-243, out. 1997.

FERREIRA, M. T. T. Erva-mate. In: GRANDE Manual Globo. 3. ed. Globo, 1979. v. 2, p. 132-136.

FERREIRA FILHO, J. C. **Cultura e preparo de erva-mate**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1957.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), em função do sítio e da dioícia**. Curitiba, 1997. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

GARRIDO *et al.* **Eficiência de adubos orgânicos na produção de mudas florestais: *Eucalypto citriodora* Hook.** [s.n.t.], 1976.

GOMES, J. M. *et al.* Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN, em "WIN-STRIP". **Revista Árvore**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 35-42, jun 1991.

HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solos e plantas**. Curitiba: UFPR, 1976.

IBGE. **Anuário estatístico brasileiro**. Rio de Janeiro, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Determinações gerais In: _____. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. ed. São Paulo, 1985. v. 1.

KASPARY, R. **Efeitos de diferentes graus de sombreamento sobre o desenvolvimento e trocas gasosas de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Porto Alegre, 1985. 42 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba : Ed. do Autor, 1993.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1986.

LASSERRE, E. N. **Abonos en yerba mate**. Cerro Azul: Estacion Experimental Agropecuária, 1973. (Informe Técnico, 19)

LAVIGNE, M. Práticas atuais de cultivo em uso nos ervais comerciais de Matte Leão Reflorestamento Ltda. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPFFlorestas, 1985. p. 58-59.

LEITE. **Separação da cafeína do chá**. Disponível em: <<http://campus.fortunecity.com/yale/757/cafeina.htm>> Acesso em: 26 mar. 1999.

LOURENÇO, R. S. Adubação da erva-mate. 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/CNPFFlorestas, 1997. p. 299-315.

LOURENÇO, R. S. *et al.* 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**. Colombo, n. 34, p. 75-98, jan./jun. 1997.

LOURENÇO, R. S. *et al.* Influência do substrato no desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 38 p. 13-30, jan./jun., 1999.

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; NEIVERTH, D. D. Efeitos de níveis de potássio sobre a adubação de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no Município de Ivaí/PR. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 245-248.

LOURENÇO, R. S. *et al.* Cobertura morta na produtividade da erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 263-266 488p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

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

MAYOL, R. M. **Fisiologia da produção da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.).** Piracicaba, 1993. 39 f. Trabalho de Graduação (Monografia) – Setor de Fisiologia, Universidade de Piracicaba – ESALQ.

MAYOL, R. M. La experiencia Argentina en sistemas de poda de yerba mate. 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/CNPFFlorestas, 1997. 337-349.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1991.

MAZZAFERA, P.; CROZIER, A.; SANDBERG, G. Studies on the metabolic control of caffeine turnover in developing endosperm and leaves of *Coffea arabica* and *Coffea dewevrei*. **Journal Agriculture Food Chemical**, American Chemical Society v.42 p.1423-1427, mai. 1994.

MAZZAFERA, P. Caffeine, Theobromine and Theophylline distribution in *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.6, n.2, p. 149-151, set 1994.

MAZZAFERA, P. Mate drinking : caffeine and phenolic acid intake. **Food Chemistry**, Campinas, v. 60, n.1, p. 67-71 15, Dpto. de Fisiologia da Unicamp, 1997.

MAZZAFERA, P. Mineral nutrition and caffeine content in coffee leaves. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 387-391, jul. 1999.

MAZZAFERA, P. Estudo sobre o papel da cafeína em plântulas de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Botânica**, Campinas, v.13, p. 97-102, jan. 1990.

MAZZAFERA, P. YAMAOKA-YANO, D.M.; VITORIA, A.P. Para que serve a cafeína em plantas ? **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.8, n.1, p.67-74, 1996.

MEDRADO, M. J. S. *et al.* Efeito do adubo N-P-K 20-5-20 na produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no Município de Áurea/RS. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 267-270.

MEDRADO, M. J. S. *et al.* Sistemas de poda de formação e produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no Município de Áurea/RS. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 271-274.

OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. de; LOURENÇO. R. S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991, 392p.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de Distribuição natural da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPFFlorestas, 1985. p.17-36.

PANDOLFO, C.M.; FLOSS, P.A.; DA CROCE, D.M. Resposta da erva-mate a doses de nitrogênio, fósforo, potássio e esterco de aves, em um latossolo roxo distrófico. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 20-23.

PAULA, R. D. **Novos estudos sobre o mate**. Rio de Janeiro, 1968. 46p.

PETERMANN, J. B. & BAUMANN, T. W. Metabolic relations between methylxanthines and methyluric acids in *Coffea* L. **Plant Physiology**, v. 73, p. 961-964, 1983.

PHILIPOVSKY, J. F.; MEDRADO, M. J. S.; DEDECEK, R. A. Produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) influenciada pelo uso de diferentes coberturas verdes do solo em Ponta Grossa/PR. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 286-289.

PRATA, F.; HIKISHIMA, M.; SANTOS FILHO, A.; MOTTA, A. C. V. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions em solos do estado do Paraná. Curitiba. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Ed. da UFPR, v. 15, n. 2, p. 69-73. 1996.

PRAT KRICUN, S. D. **Investigación agronómica en la República Argentina**. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPFFlorestas, 1985. p. 82-93

PRAT KRICUN, S. D.; BELINGUERI, L. D. Aplicación de nitrógeno en plantaciones de yerba mate com diferentes densidades. In: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL, 1., 1995, Porto Alegre. **Erva-mate, biologia e cultura no Cone Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. p. 73-79.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo**. 9 ed. São Paulo: Nobel, 1991. 542p.

PRITCHETT, W. L.; FISHER, R. F. **Properties and management of forest soils**. 2 ed. New York : J. Willey, 1987. 494p.

RACHWAL, M. F. G. *et al.* Influência da luminosidade sobre os teores de macronutrientes e tanino em folha de erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 417-420.

RADOMSKI, M. I. *et al.* Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva mate nativa. In: [Edição especial: Anais do congresso nacional sobre essências nativas, conservação da biodiversidade, 2., 1992, São Paulo]. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, n. único, parte 2, 1992 (b). p. 453-456.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba/SP, Ceres, Potafos, 1991. 343p.

REGINATTO, F. H. *et al.* Methylxanthines Accumulation in *Ilex* Species - Caffeine and Theobromine in Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) and other *Ilex* Species. **Journal Brazilian Chemistry Society**, v.10, n. 6, p. 443-446, 1999.

REISSMANN, C. B. *et al.* Avaliação das exportações de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPFlorestas, 1985. p. 128-140.

REISSMANN, C. B. *et al.* Níveis foliares e exportação de micronutrientes pela exploração da erva-mate. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Ed. da UFPR. Curitiba, 1987, v. 9, p. 103-106.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S. Influência da calagem no crescimento e na composição química foliar da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: [Edição especial: Anais do congresso nacional sobre essências nativas, conservação da biodiversidade, 2., 1992, São Paulo]. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, n. único, parte 4, 1992. p. 625-629.

REISSMANN, C. B., TREVISAN, E.; BORN, R. H. Suscetibilidade da erva-mate à clorose induzida pela calagem. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v.11, n 1-2, p.273-278, 1989/1991.

REISSMANN, C. B. *et al.* Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre cambissolo na região de Mandirituba-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 49-54. 1983.

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. Curitiba. **Archives of Biology and Technology**. v. 42, n. 2, p.187-194. 1999.

ROLIM, E. **Contribuição ao estudo da erva-mate**. Curitiba, 1920. 97p. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Medicina do Paraná.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4 ed. [s.n.t.], 1991. 682p.

SANZ & ISASA. Elementos minerales em la yerba mate. **Arch. Latinoamericano Nutr.** v. 41, n. 3, p. 441-451, 1991.

SCHREINER, H. G.; BAGGIO, A. J. Sistemas agroflorestais com erva-mate: resultados experimentais. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPFFlorestas, 1985. p.75-81

SOSA, A. D. Evaluacion de la productividad del cultivo de yerba mate en relación al estado nutricional suelo/planta. In: CURSO DE CAPACITACION EN PRODUCCIÓN DE YERBA MATE, 1, 1992, Cerro Azul. **Anais...** Cerro Azul: INTA, 1992. p.61-64.

SOSA, A. D. Fertilizacion química, abonos, requerimientos nutricionales. In: CURSO DE CAPACITACION EN PRODUCCIÓN DE YERBA MATE, 2, 1994, Cerro Azul. **Curso...** Cerro Azul: INTA, 1994. p.68-90.

STURION, J. A. Produção de mudas e implantação de povoamentos com erva-mate. Curitiba, EMBRAPA-CNPF, 1988. **Circular Técnica**, n.17. 10p.

TIBAU, A. O. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1986.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5 ed. New York: Macmillan, 1993. 634p.

TOMÉ JR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TORQUES & ANDROCZEVECZ. **Aspectos químicos da erva-mate**. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nipe/rbma/ver.aspq.htm>> Acesso em: 09 jun. 1999.

TYLER, V. E.; BRADY, L. R.; ROBERTS, J. E. **Alkaloids**. 9 ed. Philadelphia: [s.n.], 1988. p. 244-247.

URFER, B. P. Poda de rebaje bajo o decepe en yerbales viejos. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Ed. dos Organizadores, 2000. p. 294-297.

WALLER, G. R. & NOWACKI, E. K. **Alkaloid biology and metabolism in plants.** New York: Plenum Press, 1978. 293p.

WISNIEWSKI, C. et al. Exportação de biomassa e macronutrientes com a primeira poda de formação da erva mate na região de Pinhais-PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 179-186, 1996.

VALDUGA, E. **Caracterização química e anatômica da folha de *Ilex paraguariensis* St. Hil. e de algumas espécies utilizadas na adulteração do mate.** Curitiba, 1995. 97p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

VERDADE, F. C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. **Bragantia**, Campinas. v.15, p. 35-42, 1956.

VERONESE, A. **Contribuição ao estudo do mate.** Rio de Janeiro. Imprensa Nacional, 1944. 213 p.

VOLKWEISS, S. J. Química da Acidez dos Solos. In: 2º SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, UFSM, 1989. p. 7-39

YUN, R. J.; WU, X.; HARDTER, R. & XUN, W. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of different types of tea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, New York, v.79, p.47-52, 1999.

ZANON, A. Produção de Semente de erva-mate. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. **Circular Técnica**, v.16 8p.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A.; SILVEIRA JR., P. Sistema para análise estatística (SANEST) para microcomputadores (Versão 1.0) In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA. **Anais...** Piracicaba: [s.n.],1985, p. 74-90.

ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA FOLIAR EM MUDAS DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO.

Amostra	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	g/kg					mg/kg			
T0R1	14,4	1,1	8,7	6,1	4,1	76	936	6	54
T0R2	12,4	0,6	8,8	4,9	3,3	87	864	7	37
T0R3	13,3	1,3	8,3	5,7	3,9	80	842	5	60
T0R4	12,7	1,2	8,3	6,3	4,8	64	999	6	50
T1R1	10,6	2,5	18,5	5,0	1,5	33	822	7	120
T1R2	11,2	3,4	19,0	6,3	2,9	84	1.002	5	141
T1R3	11,1	2,7	20,2	4,7	1,2	68	911	3	134
T1R4	10,6	3,5	20,6	5,3	1,4	82	850	5	123
T2R1	12,0	1,8	19,9	4,4	2,1	92	939	5	70
T2R2	11,3	2,3	21,7	4,5	1,2	70	824	4	102
T2R3	12,5	3,3	20,9	6,0	2,4	170	1.002	9	180
T2R4	9,5	2,2	21,6	5,0	1,7	69	1.033	4	168
T3R1	20,1	6,3	16,4	6,8	7,2	120	150	6	115
T3R2	22,1	5,4	8,3	5,9	6,6	60	104	7	81
T3R3	24,1	3,8	9,0	6,3	6,2	85	112	7	105
T3R4	25,4	3,9	8,4	6,3	6,1	78	145	8	108
T4R1	25,2	5,1	16,0	6,8	6,4	83	256	9	168
T4R2	30,2	4,4	16,6	7,0	6,7	78	249	12	210
T4R3	29,6	3,5	16,9	7,5	6,9	104	273	8	237
T4R4	25,0	3,6	9,2	6,3	6,5	78	234	8	80
T5R1	27,9	2,5	8,8	7,8	7,5	89	288	9	150
T5R2	26,1	3,8	8,2	7,4	7,1	104	194	10	144
T5R3	20,3	6,3	9,1	6,7	6,2	62	210	7	115
T5R4	28,4	2,9	8,6	6,9	7,3	122	197	6	135
Média	18,6	3,2	13,8	6,1	4,6	84,9	559,8	6,8	120,3
CV%	11,94	29,91	16,37	9,57	12,09	31,73	11,00	25,30	30,60

ANEXO 2: RESULTADOS DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS, TEORES DE MACRONUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO, DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO, 6 TRATAMENTOS COM 4 REPETIÇÕES

Variável	C. variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob.>F
N	Tratamento	5	1163,29	232,66	47,29	0,00001
	Resíduo	18	88,56	4,92		
	Total	23	1251,85			
CV%		11,94				
Média Geral		18,57				
P	Tratamento	5	37,53	7,51	8,05	0,00060
	Resíduo	18	16,78	0,93		
	Total	23	54,31			
CV%		29,91				
Média Geral		3,23				
K	Tratamento	5	604,51	120,90	23,57	0,00001
	Resíduo	18	92,32	5,13		
	Total	23	696,83			
CV%		16,37				
Média Geral		13,83				
Ca	Tratamento	5	15,55	3,11	9,19	0,00033
	Resíduo	18	6,09	0,34		
	Total	23	21,64			
CV%		9,57				
Média Geral		6,08				
Mg	Tratamento	5	118,78	23,76	75,68	0,00001
	Resíduo	18	5,65	0,31		
	Total	23	124,43			
CV%		12,09				
Média Geral		4,63				

ANÁLISE: SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA (ZONTA *et al.*, 1985).

ANEXO 3: RESULTADOS DO TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE OS TRATAMENTOS RELATIVOS AOS TEORES DE MACRONUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO, DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO, 6 TRATAMENTOS COM 4 REPETIÇÕES

Causas de variação	G.L.	Q.M.	F	Prob.>F
N				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	140,10	28,47	0,00014
Contraste 2 – T1 vs T2	1	0,41	0,08	0,77165
Contraste 3 – T3 vs T4	1	41,72	8,50	0,00909
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	800,18	162,64	0,00001
Contraste 5 – T4 vs T5	1	6,75	1,37	0,25569
Desvio de contr.	1	180,90	36,72	0,00005
Resíduo	18	4,93		
P				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	22,77	24,43	0,00024
Contraste 2 – T1 vs T2	1	0,84	0,90	0,64218
Contraste 3 – T3 vs T4	1	1,09	1,17	0,29287
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	12,62	13,54	0,00201
Contraste 5 – T4 vs T5	1	0,13	0,14	0,70863
Desvio de contr.	1	0,21	0,23	0,64271
Resíduo	18	0,93		
K				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	135,26	26,37	0,00018
Contraste 2 – T1 vs T2	1	4,20	0,82	0,61945
Contraste 3 – T3 vs T4	1	34,44	6,71	0,01755
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	237,16	46,24	0,00002
Contraste 5 – T4 vs T5	1	72,00	14,04	0,00177
Desvio de contr.	1	193,44	37,71	0,00005
Resíduo	18	5,13		
Ca				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	0,52	1,54	0,22938
Contraste 2 – T1 vs T2	1	0,24	0,72	0,58942
Contraste 3 – T3 vs T4	1	0,66	1,95	0,17645
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	8,56	25,28	0,00021
Contraste 5 – T4 vs T5	1	0,18	0,53	0,51844
Desvio de contr.	1	5,56	16,44	0,00102
Resíduo	18	0,34		
Mg				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	1,78	5,66	0,02714
Contraste 2 – T1 vs T2	1	0,02	0,06	0,79870
Contraste 3 – T3 vs T4	1	0,02	0,06	0,79870
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	91,20	290,56	0,00001
Contraste 5 – T4 vs T5	1	0,32	1,02	0,32746
Desvio de contr.	1	25,76	82,08	0,00001
Resíduo	18	0,31		

ANÁLISE: SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA (ZONTA *et al.*, 1985).

ANEXO 4: RESULTADOS DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS, TEORES DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO, DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO, 6 TRATAMENTOS COM 4 REPETIÇÕES

Variável	C. variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob.>F
Fe	Tratamento	5	2881,33	576,27	0,7940	0,56922
	Resíduo	18	13064,50	725,80		
	Total	23	15945,83			
CV%		31,72				
Média Geral		84,91				
Mn	Tratamento	5	3130453,33	626090,67	165,0551	0,00001
	Resíduo	18	68278,00	3793,22		
	Total	23	3198731,33			
CV%		11,00				
Média Geral		559,83				
Cu	Tratamento	5	52,00	10,40	3,5657	0,02030
	Resíduo	18	52,50	2,91		
	Total	23	104,50			
CV%		25,30				
Média Geral		6,75				
Zn	Tratamento	5	34059,71	6811,94	5,0270	0,00494
	Resíduo	18	24391,25	1355,07		
	Total	23	58450,96			
CV%		30,60				
Média Geral		120,30				

ANÁLISE: SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA (ZONTA *et al.*, 1985).

ANEXO 5: RESULTADOS DO TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE OS TRATAMENTOS RELATIVOS AOS TEORES DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO, DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO, 6 TRATAMENTOS COM 4 REPETIÇÕES

Causas de variação	G.L.	Q.M.	F	Prob.>F
Fe				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	320,13	0,44	0,52143
Contraste 2 – T1 vs T2	1	2244,50	3,09	0,09243
Contraste 3 – T3 vs T4	1	0,00	0,00	1,00000
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	20,25	0,03	0,86339
Contraste 5 – T4 vs T5	1	144,50	0,20	0,66429
Desvio de contr.	1	296,45	0,41	0,53721
Resíduo	18	725,80		
Mn				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	589400,83	155,38	0,00001
Contraste 2 – T1 vs T2	1	5671,12	1,49	0,23569
Contraste 3 – T3 vs T4	1	31375,12	8,27	0,00979
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	2146225,00	565,80	0,00001
Contraste 5 – T4 vs T5	1	1891,12	0,50	0,50441
Desvio de contr.	1	357781,25	94,32	0,00001
Resíduo	18	3793,22		
Cu				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	2,70	0,92	0,64920
Contraste 2 – T1 vs T2	1	0,50	0,17	0,68604
Contraste 3 – T3 vs T4	1	12,50	4,28	0,05060
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	30,25	10,37	0,00489
Contraste 5 – T4 vs T5	1	3,12	1,07	0,31532
Desvio de contr.	1	6,05	2,07	0,16405
Resíduo	18	2,92		
Zn				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	23548,01	17,38	0,00083
Contraste 2 – T1 vs T2	1	0,50	0,00	0,98252
Contraste 3 – T3 vs T4	1	10224,20	7,54	0,01275
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	272,25	0,20	0,66292
Contraste 5 – T4 vs T5	1	2850,12	2,10	0,16123
Desvio de contr.	1	14,45	0,01	0,91552
Resíduo	18	1355,07		

ANÁLISE: SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA (ZONTA *et al.*, 1985).

ANEXO 6: RESULTADOS DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO.

Amostra	ALT	DIA	MSF
	cm	mm	gr
T0R1	31,867	1,236	1,809
T0R2	29,313	1,200	1,654
T0R3	39,200	0,920	1,998
T0R4	20,583	0,600	1,816
T1R1	61,400	1,218	2,651
T1R2	46,357	1,275	2,981
T1R3	89,000	1,513	2,823
T1R4	38,077	1,442	1,989
T2R1	52,867	1,250	2,354
T2R2	35,308	1,165	1,804
T2R3	30,636	0,625	1,199
T2R4	71,909	1,357	2,372
T3R1	53,385	0,950	4,709
T3R2	76,067	1,680	5,895
T3R3	41,500	1,100	3,671
T3R4	76,286	1,771	5,787
T4R1	62,917	2,338	2,661
T4R2	104,615	1,935	3,332
T4R3	51,000	1,444	2,813
T4R4	91,933	2,037	6,423
T5R1	54,077	1,158	4,318
T5R2	82,636	1,595	4,597
T5R3	116,867	1,934	6,298
T5R4	45,000	1,135	3,029
Média	58,45	1,37	3,29
CV%	37,49	24,32	31,73

Obs.: ALT = altura total; DIA = diâmetro de colo;
MSF = massa seca foliar

ANEXO 7: RESULTADOS DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO, DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO, 6 TRATAMENTOS COM 4 REPETIÇÕES

Variável	F. variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob.>F
ALT	Tratamento	5	6211,26	1242,25	2,59	0,1618
	Resíduo	18	8640,77	480,02		
	Total	23	14852,03			
CV%		37,49				
Média Geral		58,45				
DIA	Tratamento	5	2,20	0,44	3,96	0,0135
	Resíduo	18	1,99	0,11		
	Total		4,19			
CV%		24,31				
Média Geral		1,37				
MSF	Tratamento	5	37,32	7,46	6,84	0,0012
	Resíduo	18	19,62	1,09		
	Total		56,94			
CV%		31,73				
Média Geral		3,29				

ANÁLISE: SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA (ZONTA *et al.*, 1985).

ANEXO 8: RESULTADOS DO TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE OS NÍVEIS DE TRATAMENTO, DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO, DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO, 6 TRATAMENTOS COM 4 REPETIÇÕES

Causas de variação	G.L.	Q.M.	F	Prob.>F
ALT				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	3819,99	7,96	0,0109
Contraste 2 – T1 vs T2	1	243,26	0,51	0,5079
Contraste 3 – T3 vs T4	1	499,71	1,04	0,3224
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	1091,46	2,27	0,1458
Contraste 5 – T3T4 vs T5	1	64,87	0,14	0,7177
Desvio de contr.	1	556,84	1,16	0,2960
Resíduo	18	480,04		
DIA				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	0,70	6,28	0,0209
Contraste 2 – T1 vs T2	1	0,14	1,24	0,2790
Contraste 3 – T3 vs T4	1	0,63	5,72	0,0265
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	0,72	6,55	0,0188
Contraste 5 – T3T4 vs T5	1	0,11	0,97	0,6619
Desvio de contr.	1	0,0004	0,004	0,9490
Resíduo	18	0,11	0,11	
MSF				
Contraste 1 – T0 vs demais	1	10,41	9,55	0,0063
Contraste 2 – T1 vs T2	1	0,92	0,85	0,6269
Contraste 3 – T3 vs T4	1	2,92	2,68	0,1158
Contraste 4 – T1T2 vs T3T4	1	18,31	16,80	0,0009
Contraste 5 – T3T4 vs T5	1	0,06	0,05	0,8128
Desvio de contr.	1	4,76	4,36	0,0488
Resíduo	18	1,09		

ANÁLISE: SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA (ZONTA *et al.*, 1985).

ANEXO 9: RESULTADOS DE ANÁLISE FOLIAR DE CAFEÍNA E TANINO EM MUDAS DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO.

Amostra	Cafeína	Tanino
	%	%
T0R1	0,370	7,792
T0R2	0,173	6,386
T0R3	0,325	7,141
T0R4	0,262	7,246
T1R1	0,120	12,050
T1R2	0,137	13,222
T1R3	0,064	8,027
T1R4	0,109	14,393
T2R1	0,159	13,808
T2R2	0,140	15,995
T2R3	0,130	14,732
T2R4	0,090	14,393
T3R1	0,784	14,433
T3R2	1,063	7,480
T3R3	1,196	10,448
T3R4	1,373	15,643
T4R1	1,232	10,370
T4R2	1,438	10,917
T4R3	1,661	10,175
T4R4	0,973	9,980
T5R1	1,536	11,698
T5R2	1,317	12,753
T5R3	0,614	7,831
T5R4	1,603	16,503
Média	0,70	11,39
CV%	35,12	21,41

ANEXO 10: RESULTADOS DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE CAFEÍNA E TANINOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE COM 1 ANO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO, DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO, 6 TRATAMENTOS COM 4 REPETIÇÕES

Variável	C. variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob.>F
Cafeína	Tratamento	5	6,9055	1,3811	22,7058	0,00001
	Resíduo	18	1,0948	0,0608		
	Total	23	8,0004			
	CV%	35,12				
	Média Geral	0,70				
Tanino	Tratamento	5	126,3230	25,2646	4,2442	0,01014
	Resíduo	18	107,1502	5,9528		
	Total	23	233,4732			
	CV%	21,41				
	Média Geral	11,40				

ANÁLISE: SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA (ZONTA *et al.*, 1985).