

EFEITO DA APLICAÇÃO DE NPK E CALCÁRIO SOBRE A PODRIDÃO-DE-RAÍZES EM MUDAS DE ERVA-MATE

Igor Poletto¹, Marlove Fátima Brião Muniz², Elena Blume³, Denise Ester Ceconi⁴

¹Eng. Florestal, Doutorando em Engenharia Florestal, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil - igorpoletto@yahoo.com.br

²Eng^a. Agrônoma, Dr^a., UFSM, Santa Maria, RS, Brasil - marlove@smail.ufsm.br

³Eng^a. Agrônoma, Ph.D., UFSM, Santa Maria, RS, Brasil - eblume@smail.ufsm.br

⁴Eng^a. Florestal, Doutoranda em Ciência do Solo, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil - dceconi@yahoo.com.br

Recebido para publicação: 25/04/2009 – Aceito para publicação: 21/11/2009

Resumo

O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio, potássio e fósforo e da calagem do solo sobre a incidência e severidade da podridão-de-raízes da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado fatorial (4x3x4). Os níveis dos fatores consistiram na inoculação ou não de *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum* (Fator F), em doses de calcário (Fator C) e NPK (Fator A) acima e abaixo do recomendado para a espécie. As mudas foram cultivadas em vasos de polietileno contendo 2 kg de solo, mantidas em condições de casa de vegetação. A aplicação dos nutrientes foi baseada na análise química do solo, utilizando-se NH₄NO₂, P₂O₅ e KCl e calcário dolomítico como fontes de nutrientes. A inoculação dos isolados de *Fusarium* ocorreu quando as mudas estavam com cinco meses, mediante a incorporação no solo de uma suspensão de esporos. Foi observado que a aplicação de NPK e calcário contribuiu para a maior severidade dos sintomas da podridão-de-raízes da Erva-mate, sendo que, a menor manifestação de sintomas ocorreu com a aplicação de 50% da recomendação de NPK para a Erva-mate, sem aplicação de calcário.

Palavras-chave: Controle de doenças; *Ilex paraguariensis*; nutrição de plantas; proteção florestal.

Abstract

Effect of NPK and lime application on root-rot of erva-mate seedlings. The present work aimed to evaluate the effect of different dosages of nitrogen, potassium, and phosphorus and liming on the incidence and severity of erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil) root-rot. The experimental design was an entirely randomized factorial (4x3x4). The factors levels consisted in the inoculation or not of *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* (Factor F), in lime (Factor C) and NPK dosages (Factor A) above and below the levels recommended for the species. The seedlings were cultivated in polypropylene vases containing 2 kg of soil, under greenhouse conditions. The nutrients application was based on the soil chemical analysis, with the utilization of NH₄NO₂, P₂O₅, and KCl and dolomite lime as nutrient sources. The inoculation of *Fusarium* isolates was performed when the seedlings were five months old, by soil incorporation of a spores suspension. It was observed that the NPK and lime application contributed to the highest severity of the erva-mate rot-root symptoms, and the smallest symptoms were observed with the application of 50% of the NPK recommended for the species, without lime application.

Keywords: Disease control; *Ilex paraguariensis*; plant nutrition; forest protection.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas fitossanitários da erva-mate, nos últimos anos, é a podridão-de-raízes. Essa doença foi constatada por Grigoletti Jr.; Auer (2001) no estado do Paraná e é causada pelo fungo *Fusarium* sp. No Rio Grande do Sul, essa doença foi constatada em ervais no ano de 2004, por Poletto *et al.* (2006a), sendo causada por várias espécies do gênero *Fusarium*, como *F. oxysporum* Schlecht., *F. solani* (Mart.) Sacc., *F. decemcellulare* Brick, *F. tabacinum* (Beyma) W. Gams e *F. tricinctum* (Corda) Sacc., além de *Pythium* sp. e *Rhizoctonia* sp. Porém os sintomas dessa doença têm sido observados por produtores desde o ano de 1996. A doença causa necrose do sistema radicular e,

consequentemente, redução no desenvolvimento e na produção, podendo, nos casos mais graves, causar a morte da planta.

O controle de patógenos, como *Fusarium* spp., causadores de murchas vasculares e podridão-de-raízes é muito difícil, pois se desenvolvem no solo e penetram no hospedeiro via sistema radicular. Além disso, são capazes de sobreviver no solo por longos períodos, o que dificulta sua erradicação (BEDENDO, 1995). Fungicidas químicos não possuem um efeito eficaz e nem desejado pelos agricultores. Em consequência das inúmeras reações químicas que os produtos têm com o solo, não são eficazes e contaminam o meio ambiente e a própria erva-mate, que é consumida “*in natura*”.

Poletto *et al.* (2006b) observaram que a maioria dos agricultores que cultivam erva-mate não segue critérios técnicos para a prática de adubação dos ervais. A aplicação de adubos minerais, sem a utilização desses critérios, pode causar distúrbios no crescimento das plantas, baixa produção e/ou torná-las suscetíveis às doenças. Por outro lado, a redução do inóculo e da taxa de progresso de doenças pode ser alcançada pela disponibilização de nutrientes ou pelo seu fornecimento adequado, ou, ainda, por práticas culturais que melhorem a absorção ou a interação com o ambiente (POZZA; POZZA, 2003).

Segundo Zambolim *et al.* (2001), a integração do efeito de um nutriente específico com resistência genética, práticas culturais e controle químico podem reduzir a intensidade de doenças. Dentro do triângulo que determina a doença (ambiente-patógeno-hospedeiro), os nutrientes podem afetar direta ou indiretamente o hospedeiro, o patógeno e o meio ambiente, predispondo as plantas ao ataque de patógenos, induzindo resistência ou tolerância à planta hospedeira, reduzindo ou aumentando a severidade das doenças e afetando o ambiente, que tanto pode favorecer como desfavorecer os patógenos.

O nitrogênio é o mineral que mais causa mudanças no conteúdo de celulose nas plantas e consequentemente afeta o mecanismo de resistência da parede celular. A severidade do ataque de patógenos de solo, que causam doenças radiculares em mudas, pode ser reduzida aumentando-se o vigor das mesmas através da adição de nitrogênio, evitando o período de maior ataque do patógeno ou produzindo raízes adicionais para compensar as atacadas (HUBER, 1980, citado por HUBER; THOMPSON, 2007).

Segundo Marschner (1995), existem diferenças na incidência e severidade de doenças causadas por parasitas obrigatórios ou facultativos em função do fornecimento de nitrogênio. A infecção por parasitas obrigatórios é aumentada com maiores quantidades de N. O contrário é observado em infecções de parasitas facultativos, como é o caso de gêneros como *Fusarium* e *Alternaria*.

Resultados de vários experimentos em campo e em casa de vegetação sugerem que altas concentrações de fósforo podem reduzir ou aumentar o desenvolvimento de doenças. O P aumenta a resistência das plantas a diferentes doenças, por aumentar a concentração do nutriente nos tecidos ou por acelerar a maturidade deles. Vários casos de incremento da resistência direta, pela nutrição adequada de fósforo, podem ser atribuídos ao incremento do vigor da planta, afetando alguns patógenos. Quando aplicado no solo, pode afetar diretamente os patógenos, como também seus hospedeiros (PRABHU *et al.*, 2007). Os mesmos autores exemplificam o efeito do fósforo em alguns patossistemas: a severidade da podridão-radicular em citrus, por exemplo, causada por *Thielaviopsis basicola*, é aumentada com o suprimento do nutriente. Já para o fumo, o ataque de *T. basicola* é diminuído. A podridão-radicular em pinus, causada por *Phaeolus schweinitzii* é menos severa com o suprimento de P e o “damping off” de mudas de coníferas, causado por *Fusarium oxysporum*, é diminuído com o suprimento do nutriente.

O potássio, de um modo geral, reduz a susceptibilidade das plantas, tanto a parasitas obrigatórios quanto a facultativos. Uma norma geral é que a susceptibilidade diminui (ou a resistência aumenta) em resposta ao potássio, da mesma forma pela qual o crescimento da planta responde ao aumento do suprimento desse nutriente (ZAMBOLIM *et al.*, 2001). De forma geral, o fornecimento equilibrado de potássio à planta diminui a incidência de doenças em razão do aumento da resistência à penetração e desenvolvimento de alguns patógenos. Além de aumentar a espessura da parede celular, proporciona maior rigidez dos tecidos e regulação funcional dos estômatos e promove a rápida recuperação dos tecidos que sofreram injúria (HUBER; ARNY, 1985, citado por BASSETO *et al.*, 2007).

O conteúdo de cálcio nos tecidos das plantas afeta a incidência de doenças parasíticas de duas formas: na primeira, quando os níveis de cálcio são baixos, o fluxo de compostos de baixo peso molecular (açúcares) do citoplasma para o apoplasto é aumentado; na segunda, poligalacturonatos de cálcio são requeridos na lamela média, para que haja estabilidade na parede celular. Muitos fungos e bactérias fitopatogênicas alcançam o tecido da planta pela produção de enzimas pectolíticas extracelulares, como a

galacturonase, que dissolvem a lamela média. A atividade dessa enzima é drasticamente inibida pela presença de cálcio (MARSCHNER, 1995).

A aplicação de calcário no solo pode reduzir o ataque de *Colletotrichum truncatum*, agente causal da antracnose da soja, e a população de *Sclerotium rolfsii* no solo. A redução do pH do solo reduz também o ataque da murcha de *Verticillium* spp. em várias culturas, o de *Phymatotrichum omnivorum* em algodoeiro e o de *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* em trigo (ZAMBOLIM; VENTURA, 1993).

Em células vegetais, os íons magnésio (Mg^{2+}) têm um papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA. O Mg^{2+} é componente da lamela média e também faz parte da estrutura da molécula de clorofila. Está também associado com a velocidade de crescimento das plantas, a mitose, os níveis de proteínas, o metabolismo de carboidratos e a fosforilação oxidativa em células fisiologicamente jovens. As funções bioquímicas e fisiológicas do Mg^{2+} incluem reações de transferência de energia envolvendo grupos fosfato-reativos e agindo como cofator para muitas enzimas. Também desempenha um papel na síntese de açúcares, óleos e gorduras (BLOOM, 2004; JONES; HUBER, 2007). Diferentemente do cálcio, o magnésio é translocado de partes “maduras” da planta para aquelas em crescimento ativo (ZAMBOLIM; VENTURA, 1993).

Em vista disso, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio, potássio e fósforo e da calagem do solo sobre a incidência e severidade da podridão-de-raízes da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, em condições de ambiente não-controlado.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3 x 4 (Fator F: inoculação de *Fusarium* spp.; Fator C: calagem do solo; Fator A: doses de nitrogênio (N) fósforo (P) e potássio (K)), totalizando 48 tratamentos, com cinco repetições de uma muda cada.

Os níveis dos fatores foram assim compostos (Tabela 1).

Tabela 1. Fatores e seus respectivos níveis.

Table 1. Factors and their respective levels.

Fator	Tratamentos
F	FO: inoculação de <i>Fusarium oxysporum</i> .
	FS: inoculação de <i>Fusarium solani</i> .
	FOS: inoculação de <i>Fusarium oxysporum</i> e <i>Fusarium solani</i> conjuntamente.
	SF: sem inoculação.
C	C0: solo sem calagem.
	C1: solo com adição de 8,79 g de calcário kg^{-1} de solo.
	C2: solo com adição de 13,18 g de calcário kg^{-1} de solo.
A	A0: solo sem aplicação de NPK.
	A1: aplicação de 45,7, 10,0 e 57,0 mg kg^{-1} de solo, de N, P e K, respectivamente.
	A2: aplicação de 91,4, 20,0 e 114,0 mg kg^{-1} de solo, de N, P e K, respectivamente.
A3: aplicação de 137,1, 30,0 e 171,0 mg kg^{-1} de solo, de N, P e K, respectivamente.	

Fusarium oxysporum (isolado 12.4a) e *F. solani* (isolado 4.4) utilizados neste estudo pertencem ao Laboratório de Fitopatologia do Departamento de Defesa Fitossanitária/CCR/UFSM. Esses isolados foram escolhidos pela sua patogenicidade, em estudos realizados por Poletto *et al.* (2006a).

O solo utilizado no experimento foi coletado em um horizonte A (10-20 cm) classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (STRECK, 2002), peneirado (malha 0,5 cm) e seco à sombra. Depois de homogeneizado, foi coletada uma amostra, analisada quimicamente no Laboratório Central de Análises de Solo da UFSM. De posse dos resultados (Tabela 2), foram calculadas as quantidades de N, P, K e calcário a serem aplicadas no solo para cada tratamento.

Para a calagem, foi utilizado calcário dolomítico com PRNT (Poder Real de Neutralização Total) de 75,1%. A calagem do nível C1 (Fator C) foi realizada segundo a recomendação da Comissão de

Química e Fertilidade do Solo (2004) para a espécie, suficiente para elevar o pH para 5,5. A calagem do nível C2 foi suficiente para elevar o pH para 6,0.

Tabela 2. Análise química do solo utilizado no experimento.

Table 2. Chemical analysis of the soil used in the experiment.

MO	Argila	pH	Índice	P*	K*	Ca	Mg	Al	CTCpH _{7,0}	V	m
g dm ⁻³		H ₂ O	SMP	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%	
19	300	4,8	5	6	36	0,9	0,4	6,3	15,1	9	82

MO: matéria orgânica; m: saturação por alumínio; V: saturação por bases; *: Extrator Mehlich I.

A adubação realizada no nível A2 (Fator A) foi segundo a recomendação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004) para a espécie. A adubação realizada no nível A1 foi 50% a menos que a recomendação e a do nível A3 foi 50% a mais. As fontes dos nutrientes N, P e K utilizadas foram NH₄NO₂, P₂O₅ e KCl (produto puro para análise – PA).

Em setembro de 2006, as mudas de erva-mate, produzidas em um viveiro comercial do município de Anta Gorda (RS), foram repicadas para vasos, todas com o mesmo tamanho (quatro folhas e 5 cm de altura, partindo do colo). Os vasos, de polietileno preto, com capacidade para 2 dm³, foram vedados para evitar perda de nutrientes e, em cada um, foram adicionados 2 kg de solo seco. No momento do enchimento dos vasos, o calcário (em pó), o fósforo e o potássio (diluídos em água) foram incorporados ao solo nos respectivos tratamentos. A fonte de nitrogênio foi diluída em água e aplicada duas semanas após a repicagem das plântulas. Para determinar a quantidade de água a ser repostada em cada vaso, foi determinada a capacidade de campo do solo segundo o método descrito pela EMBRAPA (1997). A reposição da água foi feita mediante pesagem dos vasos. Para evitar possíveis influências do meio, os vasos foram mudados de posição a cada 20 dias e pesados para calibração da umidade.

Os isolados de *Fusarium oxysporum* e *F. solani* utilizados neste estudo são oriundos de plantas de erva-mate doentes e identificados em estudos anteriores por Poletto *et al.* (2006a), conservados por dois anos em frascos com sementes de sorgo e solo esterilizados, em temperatura ambiente. Porções dessas sementes foram retiradas dos frascos e transferidas para placas de Petri contendo meio batata-dextrose-ágar (BDA) e mantidas por 10 dias a 24 °C, com fotoperíodo de 12 h. Porções das colônias crescidas nas placas foram transferidas para frascos de Erlenmeyer contendo arroz (sem casca, tipo parboilizado) previamente umedecido e autoclavado (30 min a 121 °C a 1 atm). Os frascos foram colocados em câmara de incubação a 24 °C, com fotoperíodo de 12 h, por 20 dias. Após esse período, o arroz foi colocado em um recipiente com água esterilizada (1000 mL de água para cada 200 g de arroz) e agitado por 10 minutos. A suspensão resultante foi coada e contou-se o número de esporos com auxílio da câmara de Neubauer, em um microscópio óptico. A suspensão apresentou 4,30 x 10⁷ esporos mL⁻¹ para *F. oxysporum* e 2,99 x 10⁷ esporos mL⁻¹ para *F. solani*. Cinco meses após o plantio das mudas, foram aplicados 20 mL da suspensão de esporos por vaso, incorporados nos dois primeiros centímetros da superfície do solo, sendo estes imediatamente umedecidos com água. Para os tratamentos com inoculação conjunta das duas espécies de *Fusarium*, foram aplicados 10 mL da suspensão de cada espécie.

Após a inoculação de *Fusarium* spp., até o final do experimento (oito meses), foram realizadas avaliações visuais semanais dos sintomas na parte aérea das mudas, observando-se clorose, necrose, murcha, amarelecimento, encarquilhamento, queda de folhas e, ao final, necrose de raízes, atribuindo notas para o grau de severidade de cada item (Tabela 3). Para a visualização e análise das raízes, as mudas foram arrancadas e lavadas em água corrente.

Tabela 3. Notas atribuídas aos graus de severidade de cada sintoma observado.

Table 3. Grades attributed to the severity degrees of each observed symptom.

Notas*	Graus de severidade
0	Ausência de sintoma
1	01 a 20%
2	21 a 40%
3	41 a 60%
4	61 a 80%
5	81 a 100%

Fonte: adaptado de Poletto *et al.* (2006a).

* Em caso de variação da nota, para mais ou para menos ao longo do tempo de avaliação, optou-se pela nota maior.

Os valores obtidos nas notas atribuídas a cada sintoma foram submetidos à análise da variância pelo teste de Kruskal-Wallis e teste de Mann-Whitney para comparação entre tratamentos (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2001). Para essas análises, foi utilizado o software estatístico STATISTICA 6.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito dos tratamentos na disponibilidade de nutrientes

Na tabela 4, são apresentados os valores obtidos na análise química do solo para cada tratamento ao final do experimento.

Tabela 4. Análise química do solo ao final do experimento em função da calagem (Fator C) e da adubação NPK (Fator A).

Table 4. Chemical analysis of the soil at the end of the experiment in function of the liming (Factor C) and of the NPK fertilization (Factor A).

Trat.	MO	Argila	pH	Índice	P*	K*	Al	Ca	Mg	CTC	V	m
	g dm ⁻³		H ₂ O	SMP	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³			pH _{7,0}	%	
Inicial	19	300	4,8	5,0	6,0	36	6,3	0,9	0,4	15,1	9	82
C0 A0	20	325	4,6	4,9	2,4	38	5,7	4,0	1,7	22,4	26,0	50,0
C0 A1	20	328	4,5	4,7	2,4	37	5,9	3,8	1,7	26,0	22,8	51,5
C0 A2	19	325	4,5	4,6	2,6	39	5,8	3,7	1,6	27,5	19,8	52,0
C0 A3	20	325	4,6	5,0	3,0	40	6,0	3,5	1,6	19,8	25,8	54,3
C1 A0	20	320	5,1	6,0	2,8	41	0,7	8,4	5,3	18,5	74,3	5,0
C1 A1	20	320	5,4	6,2	2,8	46	0,1	8,7	5,4	17,6	80,5	0,8
C1 A2	19	328	5,5	6,3	3,0	50	0,1	9,0	5,4	17,8	81,8	0,5
C1 A3	20	320	5,5	6,3	3,0	61	0,2	9,1	5,3	18,0	81,5	0,9
C2 A0	19	315	6,0	6,7	2,6	42	0,0	11,1	5,4	18,6	89,0	0,0
C2 A1	19	338	6,2	6,9	2,6	49	0,0	10,6	5,3	17,7	90,8	0,0
C2 A2	18	300	6,2	6,8	2,8	58	0,0	10,9	5,4	18,2	90,3	0,0
C2 A3	19	308	6,2	6,9	3,0	71	0,0	11,0	5,3	18,2	90,8	0,0

Inicial: laudo da análise de solo realizado antes da aplicação dos tratamentos; MO: matéria orgânica; m: saturação por alumínio; V: saturação por bases; *: extrator Mehlich I; (C0 – 0, C1 – 8,79, C2 – 13,18 g de calcário kg⁻¹ de solo): níveis de calagem; (A0 – 0,0, A1 – 45,7, 10,0 e 57,0, A2 – 91,4, 20,0 e 114,0, A3 – 137,1, 30,0 e 171,0 mg kg⁻¹ de solo, de N, P e K, respectivamente): níveis de adubação.

Interpretando os resultados obtidos na tabela 4, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004), observa-se que, após a aplicação dos tratamentos e crescimento das mudas da erva-mate, o solo apresentou as características que serão descritas a seguir.

O teor de matéria orgânica obtido é considerado baixo antes e após a aplicação dos tratamentos e condução do experimento, com valores em torno de 2%. Segundo Silva *et al.* (2004), a matéria orgânica, juntamente com os componentes inorgânicos da fase sólida (fração mineral), é gerada partindo da decomposição dos resíduos de plantas e animais, sendo formada por diversos compostos de carbono em vários graus de alteração e interação com as outras fases do solo. Apesar de compor menos de 5% da maioria dos solos, apresenta uma alta capacidade de interagir com outros componentes, alterando assim propriedades químicas, físicas e biológicas, as quais afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, sua produtividade.

Antes da aplicação dos tratamentos, o teor de P no solo era baixo (6,0), e ao final do experimento, os teores encontrados foram considerados muito baixos (em média 2,8) em todos os tratamentos, inclusive naqueles nos quais se adicionou o nutriente. Uma das causas do resultado obtido pode ser o fato de o solo natural possuir baixos teores de fósforo, o que proporciona uma maior quantidade de sítios de adsorção nos colóides de solo, e as quantidades do nutriente adicionadas, em função dos tratamentos, terem sido adsorvidas por estes colóides, ficando o fósforo com baixos teores na

solução do solo. Outra explicação pode ser devido ao fato de as plantas terem absorvido o fósforo que permaneceu disponível.

O P é um nutriente que geralmente apresenta problemas, em consequência dos seus baixos teores na maioria dos solos usados para agricultura no Brasil e também pelas interações que realiza com as partículas de solo, tornando-se adsorvido e indisponível para as plantas. A disponibilidade do P depende dos fatores que afetam o seu movimento da solução do solo até a superfície das raízes, da capacidade do solo de manter P na solução e de outros fatores limitantes ao crescimento das plantas (ANGHINONI; BISSANI, 2004).

O nutriente K, na análise de solo inicial, era considerado baixo (36), e ao término do experimento continuou sendo baixo (em média 44), inclusive para o solo dos tratamentos que receberam adição do nutriente, exceto para C1A3 e C2A3, em que os teores encontrados são considerados médios (61 e 71, respectivamente). Fatores físicos, químicos e biológicos do solo podem afetar a quantidade disponível de potássio a curto, médio e longo prazo. Entre esses fatores, podem-se destacar o material de origem e grau de intemperização, a mineralogia, a CTC, a textura, o pH do solo e as características das plantas cultivadas. Quando o solo apresenta baixos teores de K, as plantas respondem significativamente à adubação potássica (MEURER; INDA JR., 2004).

De acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004), a disponibilidade do potássio é interpretada de acordo com a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC $pH_{7,0}$), também chamada de CTC potencial, que é alta no solo antes e após a aplicação dos tratamentos. Solos com maior CTC retêm mais K na fase sólida, diminuindo as perdas por lixiviação. Apresentam também maior capacidade de manter alto o K na solução e, conseqüentemente, o gradiente de concentração (MEURER; INDA JR., 2004).

Interpretando os resultados obtidos na análise de solo e considerando que, mesmo tendo sido aplicado K, o teor continuou baixo na maioria dos tratamentos, sugere-se como causa a absorção pelas mudas de erva-mate, pois, nos tratamentos nos quais se aplicou NPK, as plantas cresceram e se desenvolveram melhor e, conseqüentemente, absorveram maior quantidade de nutrientes, fazendo com que os teores no solo, ao final do experimento, continuassem baixos. Nos tratamentos C1A3 e C2A3, que ao final do experimento apresentaram teores médios de K, a maior adição do nutriente é que resultou nesse teor final. Segundo Meurer; Inda Jr. (2004), a elevação do pH aumenta a quantidade de cargas negativas e, assim, há maior retenção de K e de outros cátions na fase sólida do solo. Isso explica o porquê de maiores adições, como nos tratamentos com A3, não terem resultado em maiores teores ao final do experimento.

Os teores de cálcio no solo original foram baixos (0,9), passando, depois da aplicação dos tratamentos, a ser médios (em média 3,8) para os sem calagem (C0) e altos (em média 9,9) para os demais tratamentos (com calagem). Os teores de magnésio no solo inicial também foram baixos (0,4), e após a aplicação dos tratamentos passaram a ser altos (em média 4,1). Os teores de Ca e Mg contribuem expressivamente na saturação de bases (V%) obtidas neste estudo. Os valores da saturação de bases foram muito baixos no solo original (9) e nos tratamentos sem calagem (em média 23,6), médios para o tratamento C1A0 (74,3) e altos para os demais tratamentos (em média 83,4). Como a V% é obtida, basicamente, pela soma dos elementos Ca, Mg e K, seguiu um comportamento semelhante ao dos teores desses elementos. Quanto maiores os valores da saturação por bases, melhor, pois essa é uma das condicionantes da produtividade do solo.

O pH em água é muito baixo antes e para todos os tratamentos C0 (sem calagem) (em média 4,6), baixo para C1A0 e C1A1 (em média 5,2), médio para C1A2, C1A3 e C2A0 (em média 5,7), e alto para os demais tratamentos com C2 (em média 6,2). O aumento do pH do solo em razão da calagem é o efeito esperado por tal prática. O cálcio e o magnésio contidos no calcário usado na calagem, além de aumentar o pH do solo, reduzindo sua acidez, diminuem a toxidez por alumínio, como pode ser observado claramente na tabela 4. À medida que aumenta o pH do solo e os teores de Ca e Mg, diminuem os teores de Al e a saturação por Al (m%). O valor da saturação por Al no solo antes da aplicação dos tratamentos e nos tratamentos sem calagem (C0) é alto (em média 58), baixo no tratamento C1A0 (5) e muito baixo para os demais tratamentos (em média 0,3).

A saturação por Al nula é um dos principais fatores para se obter boas produtividades, pois as plantas não sofrerão restrições de crescimento por influência da toxidez desse elemento. Os efeitos de toxidez de alumínio nas plantas podem ser observados principalmente no sistema radicular, reduzindo o desenvolvimento das raízes e causando engrossamento e necrose, que acabam por diminuir a absorção e

translocação de fósforo pela planta. Esses distúrbios no sistema radicular das plantas prejudicam o desenvolvimento da parte aérea, que pode apresentar sintomas de deficiência de P. Devido à falha na sua translocação, as plantas não se desenvolvem, apresentam coloração amarelada e rendimento muito baixo (TEDESCO; BISSANI, 2004).

Efeito dos tratamentos na incidência e severidade da doença

Observou-se a manifestação de diferentes sintomas na parte aérea e nas raízes das mudas em consequência da aplicação dos diferentes tratamentos. Os sintomas que mais se destacaram na parte aérea foram clorose, necrose, encarquilhamento e queda de folhas, e nas raízes, necrose. Esporadicamente, apareceram, em algumas mudas, amarelecimento de folhas e estagnação do crescimento, porém esses sintomas não foram constantes durante o período de avaliação e, por isso, não foram quantificados.

Nas plantas, a necrose é causada pela degeneração do protoplasma, seguida de morte de células, tecidos e órgãos. Clorose é a denominação do sintoma de esmaecimento do verde em órgãos clorofilados, também decorrente da falta de clorofila. Encarquilhamento e epinastia das folhas são ocasionados pelo crescimento desordenado de células, eu causa deformação dos tecidos, curvando a folha para baixo ou para cima (AMORIM; SALGADO, 1995). Neste experimento, o encarquilhamento das folhas é a soma do encarquilhamento e da epinastia.

A análise da variância para os tratamentos sem inoculação de *Fusarium* (SF) mostrou efeito significativo para os sintomas de clorose ($p = 0,00001$), encarquilhamento de folhas ($p = 0,00001$), necrose de raízes ($p = 0,00001$), necrose de folhas ($p = 0,001$) e para a soma total dos sintomas ($p = 0,00001$), e não-significativo para a queda de folhas ($p = 0,7376$), em função da combinação dos fatores C (calagem) e A (adubação NPK). A representação gráfica das notas atribuídas para esses sintomas pode ser observada nas tabelas 5, 6 e 7 (colunas pretas).

Observou-se que o teste de Mann-Whitney não foi satisfatório para comparação entre tratamentos. Por esse teste, não se obtiveram diferenças significativas, provavelmente por efeito do pequeno intervalo de notas (0 a 5) atribuídas aos sintomas e pelo fato de, na maioria das vezes, as cinco repetições de cada tratamento receberem notas heterogêneas, o que contribuiu para a não-detecção de diferenças significativas.

Na tabela 5, pode-se observar as notas atribuídas aos tratamentos inoculados com *Fusarium oxysporum* (colunas cinza) em função da combinação dos fatores C (calagem) e A (adubação NPK). A análise da variância mostrou efeito significativo para os sintomas de clorose ($p = 0,00001$), encarquilhamento de folhas ($p = 0,0001$), queda de folhas ($p = 0,0004$), necrose de folhas ($p = 0,0004$) e para a soma total dos sintomas ($p = 0,00001$), e não-significativo para a necrose de raízes ($p = 0,2783$).

Para o sintoma clorose (CL), observa-se que ele foi comum em ambos os tratamentos, inoculados e não-inoculados. As maiores notas atribuídas a esse sintoma foram nos tratamentos com calagem (C1 e C2). Já nos sem calagem, praticamente não houve manifestação do sintoma, determinando as menores notas (Tabela 5).

As notas atribuídas ao sintoma necrose de folhas (NF) foram maiores nos tratamentos com maior calagem (C2) e também com as maiores adubações (A2 e A3). Ambos os tratamentos, inoculados e não-inoculados, apresentaram o sintoma, porém com uma superioridade de 35%, em média, para os tratamentos inoculados (Tabela 5).

O encarquilhamento das folhas (EF) foi observado somente nos tratamentos com calagem (C1 e C2), e quanto maior a dose de calcário adicionada, mais severo foi o sintoma. Verificou-se que, nos tratamentos inoculados, as notas foram, em média, 17% maiores do que a dos não-inoculados (Tabela 5).

Para o sintoma queda de folhas (QF), houve grandes diferenças entre as notas atribuídas aos tratamentos inoculados e não-inoculados. Em média, os inoculados obtiveram notas 70% maiores que os não-inoculados. As maiores diferenças ocorreram nos tratamentos C2A2 e C2A3 (Tabela 5).

Observando-se somente os tratamentos sem inoculação de *Fusarium*, verificou-se que, na ausência de calagem (C0), não foi observada manifestação de necrose de raízes (NR), mas à medida que foi aplicada a calagem (C1 e C2), observou-se aumento na severidade do sintoma. Porém, nos tratamentos com inoculação de *Fusarium*, o sintoma se manifestou mesmo na ausência de calagem, embora com notas baixas, aumentando gradualmente com o aumento da calagem. Em média, as notas atribuídas aos tratamentos inoculados foram 39% superiores aos não-inoculados (Tabela 5).

Na soma total dos sintomas (TS), os tratamentos inoculados receberam notas, em média, 28% maiores que os não-inoculados. As maiores notas foram atribuídas aos tratamentos com maior calagem e

adubação. Quanto ao número de mudas com ausência de sintomas, o único tratamento que teve 100% de mudas saudias foi o C0A1 não-inoculado, seguido pelo C0A1 inoculado, com 75%. Os tratamentos com calagem (C1 e C2) não tiveram mudas saudias (Tabela 5).

Tabela 5. Notas atribuídas aos sintomas de clorose de folhas (CL), necrose de folhas (NF), encarquilhamento de folhas (EF), queda de folhas (QF), necrose de raízes (NR), soma total dos sintomas (TS) e número de mudas com ausência de sintomas (AS), que se manifestaram nas mudas de erva-mate inoculadas ou não com *Fusarium oxysporum*, em função da combinação dos fatores C (C0, C1 e C2 = níveis de calagem) e A (A0, A1, A2 e A3 = níveis de adubação NPK).

Table 5. Grades attributed to the symptoms of leaves chlorosis (CL), leaves necrosis (NF), leaves curling (EF), leaves fall (QF), roots necrosis (NR), total sum of the symptoms (TS) and number of seedlings with absence of symptoms (AS), that if showed in the erva-mate seedlings inoculated or not with *Fusarium oxysporum*, in function of the combination of the factors C (C0, C1 and C2 = liming levels) and A (A0, A1, A2 and A3 = NPK fertilization levels).

Trat.	CL		NF		EF		QF		NR		TS		AS	
	FO	SF	FO	SF	FO	SF	FO	SF	FO	SF	FO	SF	FO	SF
C0 A0	0,6	0,2	0,6	0,4	0,0	0,0	1,0	0,4	0,4	0,0	2,6	1,0	1,0	2,0
C0 A1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	4,0	5,0
C0 A2	0,2	0,8	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,4	1,2	1,0	2,0
C0 A3	0,8	0,4	0,6	0,4	0,0	0,0	1,4	0,4	0,4	0,0	3,2	1,2	0,0	2,0
Média	0,5	0,4	0,6	0,3	0,0	0,0	0,6	0,2	0,3	0,0	1,9	0,9	1,5	2,8
C1 A0	0,8	0,2	0,4	0,4	1,6	0,8	0,0	0,0	1,6	0,2	4,4	1,6	0,0	1,0
C1 A1	0,4	0,6	0,2	0,4	1,2	1,2	0,0	0,2	1,2	0,0	3,0	2,4	0,0	0,0
C1 A2	1,2	1,4	1,0	0,2	2,0	0,6	0,4	0,2	0,8	0,2	5,4	2,6	0,0	0,0
C1 A3	1,2	1,0	0,4	0,4	1,2	0,6	1,2	0,2	0,6	0,8	4,6	3,0	0,0	0,0
Média	0,9	0,8	0,5	0,4	1,5	0,8	0,4	0,2	1,1	0,3	4,4	2,4	0,0	0,3
C2 A0	1,8	2,4	1,4	0,0	1,2	1,2	1,0	0,4	2,6	1,4	8,0	5,3	0,0	0,0
C2 A1	3,6	4,0	2,0	1,2	2,0	3,0	0,2	0,4	1,0	1,6	8,8	10,2	0,0	0,0
C2 A2	4,8	4,0	4,2	3,2	2,2	2,2	2,0	0,4	2,0	2,2	15,2	12,1	0,0	0,0
C2 A3	5,0	4,4	3,6	3,0	2,8	2,2	2,0	0,2	2,2	1,6	15,6	11,4	0,0	0,0
Média	3,8	3,7	2,8	1,9	2,1	2,2	1,3	0,4	2,0	1,7	11,9	9,7	0,0	0,0

Analisando todas as variáveis conjuntamente (Tabela 5), observa-se maior severidade dos sintomas nos tratamentos com maior calagem e adubação, indicando efeito tóxico de excesso de nutrientes às plantas. A ausência de sintomas no tratamento C0A1 não-inoculado indica ser esta a melhor adubação para a erva-mate entre os tratamentos testados. Esse tratamento foi o que apresentou menor severidade dos sintomas entre os inoculados, mostrando que a planta nutrida satisfatoriamente desfavoreceu o ataque de *Fusarium oxysporum* quase que por completo. Outra conclusão possível é a de que, mesmo tendo variações entre tratamentos, no geral, as plantas com deficiência ou excesso de nutrientes foram mais propensas ao ataque de *F. oxysporum*.

Na tabela 6, podem-se observar os gráficos das notas atribuídas aos tratamentos inoculados com *Fusarium solani* (colunas cinza) em função da combinação dos fatores C (calagem) e A (adubação NPK). A análise da variância mostrou efeito significativo para os sintomas clorose ($p = 0,00001$), encarquilhamento de folhas ($p = 0,00001$), necrose de raízes ($p = 0,0171$), necrose de folhas ($p = 0,0068$) e para a soma total dos sintomas ($p = 0,0001$), e não-significativo para a queda de folhas ($p = 0,0877$).

Para o sintoma clorose (CL), a maior severidade foi observada nos tratamentos com maior calagem e adubação. Ambos os tratamentos, inoculados ou não, apresentaram sintomas, e na média entre tratamentos praticamente não apresentaram diferença (1%) nas notas (Tabela 6).

Para a necrose de folhas (NF), as maiores notas foram observadas nos tratamentos C2A1, C2A2 e C2A3, com notas em torno de 3. Nos demais tratamentos, as notas se mantiveram em torno de 0,5. Na média entre tratamentos, os inoculados receberam notas 22% superiores aos não-inoculados (Tabela 6).

O encarquilhamento de folhas (EF) foi observado somente nos tratamentos com calagem (C1 e C2), sendo a maior severidade nos tratamentos com C2. A maior severidade do sintoma alternou-se entre os tratamentos inoculados e não-inoculados, indicando que a presença desse sintoma é, sobretudo,

dependente do pH. Os tratamentos inoculados tiveram as notas, em média, 16% maiores que os não-inoculados (Tabela 6).

Tabela 6. Notas atribuídas aos sintomas de clorose de folhas (CL), necrose de folhas (NF), encarquilhamento de folhas (EF), queda de folhas (QF), necrose de raízes (NR), soma total dos sintomas (TS) e número de mudas com ausência de sintomas (AS), que se manifestaram nas mudas de erva-mate inoculadas ou não com *Fusarium solani*, em função da combinação dos fatores C (C0, C1 e C2 = níveis de calagem) e A (A0, A1, A2 e A3 = níveis de adubação NPK).

Table 6. Grades attributed to the symptoms of leaves chlorosis (CL), leaves necrosis (NF), leaves curling (EF), leaves fall (QF), roots necrosis (NR), total sum of the symptoms (TS) and number of seedlings with absence of symptoms (AS), that if showed in the erva-mate seedlings inoculated or not with *Fusarium solani*, in function of the combination of the factors C (C0, C1 and C2 = liming levels) and A (A0, A1, A2 and A3 = NPK fertilization levels).

Trat.	CL		NF		EF		QF		NR		TS		AS	
	FS	SF	FS	SF	FS	SF	FS	SF	FS	SF	FS	SF	FS	SF
C0 A0	0,8	0,2	1,2	0,4	0,0	0,0	0,4	0,4	0,2	0,0	2,6	1,0	3,0	2,0
C0 A1	0,4	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,8	0,0	2,8	0,0	3,0	5,0
C0 A2	0,0	0,8	0,2	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,6	1,2	2,0	2,0
C0 A3	0,0	0,4	1,0	0,4	0,0	0,0	0,8	0,4	0,2	0,0	2,0	1,2	2,0	2,0
Média	0,3	0,4	0,8	0,3	0,0	0,0	0,7	0,2	0,3	0,0	2,0	0,9	2,5	2,8
C1 A0	0,6	0,2	0,4	0,4	1,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,2	2,2	1,6	1,0	1,0
C1 A1	1,2	0,6	0,0	0,4	1,0	1,2	0,6	0,2	0,2	0,0	3,0	2,4	0,0	0,0
C1 A2	1,0	1,4	0,8	0,2	1,2	0,6	0,8	0,2	0,0	0,2	3,8	2,6	0,0	0,0
C1 A3	1,4	1,0	0,6	0,4	0,8	0,6	1,2	0,2	2,0	0,8	6,0	3,0	0,0	0,0
Média	1,1	0,8	0,5	0,4	1,1	0,8	0,7	0,2	0,6	0,3	3,8	2,4	0,3	0,3
C2 A0	0,4	2,4	0,2	0,0	1,6	1,2	0,2	0,4	0,6	1,4	3,0	5,3	0,0	0,0
C2 A1	4,2	4,0	1,6	1,2	2,2	3,0	0,2	0,4	2,2	1,6	10,4	10,2	0,0	0,0
C2 A2	4,6	4,0	3,4	3,2	3,6	2,2	2,2	0,4	1,0	2,2	14,8	12,1	0,0	0,0
C2 A3	5,0	4,4	2,8	3,0	2,4	2,2	1,0	0,2	1,4	1,6	12,6	11,4	0,0	0,0
Média	3,6	3,7	2,0	1,9	2,5	2,2	0,9	0,4	1,3	1,7	10,2	9,7	0,0	0,0

Os tratamentos não tiveram efeito significativo sobre a queda de folhas (QF), com as maiores notas ocorrendo de forma aleatória, mas observou-se que a média das notas atribuídas para os tratamentos inoculados foi 68% maior que a dos não-inoculados (Tabela 6).

Para o sintoma necrose de raízes (NR), a maior severidade foi observada nos tratamentos com maior calagem (C2), diferentemente dos sem calagem (C0), em que praticamente não houve manifestação. Houve alternância nas maiores notas entre os tratamentos inoculados e não-inoculados, praticamente não havendo diferença na média das notas (7%) (Tabela 6).

Na soma total dos sintomas (TS), a média das notas entre tratamentos inoculados foi 18% maior que a dos não-inoculados. O tratamento C0A1 (não-inoculado) não apresentou manifestação de sintomas, e os tratamentos C2A1, C2A2 e C2A3 foram os que apresentaram as maiores notas (Tabela 6).

Os tratamentos que apresentaram mudas sem sintomas (AS) foram dos sem calagem, em média 40% delas. O único tratamento que apresentou 100% de mudas sadias foi C0A1 não-inoculado.

Observa-se, na tabela 6, que, mesmo ocorrendo variações entre tratamentos, no geral, as plantas com excesso de nutrientes foram mais propensas ao ataque de *F. solani*. As maiores adubações, quando aplicadas juntamente com a calagem, proporcionaram maior severidade dos sintomas, indicando efeito tóxico de excesso de nutrientes às plantas. A ausência de sintomas no tratamento C0A1 não-inoculado indica ser esta a melhor adubação para a erva-mate entre os tratamentos testados. A menor severidade dos sintomas nos tratamentos inoculados foi observada nos tratamentos sem calagem (C0), indicando que a planta, quando nutrida adequadamente, não é suscetível ao ataque de *Fusarium solani*.

Na tabela 7, podem-se observar os gráficos das notas atribuídas aos tratamentos inoculados com *F. oxysporum* e *F. solani* conjuntamente (colunas cinza), em função da combinação dos fatores C (calagem) e A (adubação NPK). A análise da variância mostrou efeito significativo para os sintomas de clorose ($p = 0,00001$), encarquilhamento de folhas ($p = 0,00001$), queda de folhas ($p = 0,00001$), necrose

de folhas ($p = 0,0002$) e para a soma total dos sintomas ($p = 0,0001$), e não-significativo para a necrose de raízes ($p = 0,0617$).

Para o sintoma clorose (CL), a severidade foi maior à medida que aumentou a calagem e a adubação. Note-se que o tratamento C2A3 inoculado atingiu nota máxima, e os tratamentos C0A0 e C0A1 praticamente não tiveram manifestação do sintoma. As notas atribuídas aos tratamentos inoculados, em média, foram 15% maiores que a dos não-inoculados (Tabela 7).

A severidade da necrose das folhas (NF) foi maior para os tratamentos C2A1, C2A2 e C2A3. Já para os demais tratamentos, as notas foram semelhantes, permanecendo em torno de 0,5. Em média, as notas atribuídas aos tratamentos inoculados foram 38% superiores às notas dos não-inoculados.

As notas atribuídas ao sintoma encarquilhamento de folhas (EF) foram aumentando à medida que aumentou a calagem, diferentemente dos tratamentos sem calagem, que não apresentaram manifestação do sintoma. Em média, os tratamentos inoculados receberam notas 23% superiores aos não-inoculados (Tabela 7).

Para o sintoma queda de folhas (QF), observou-se maior severidade nos tratamentos C2A2 e C2A3 inoculados. Na média dos tratamentos, os inoculados receberam notas 63% superiores às notas dos não-inoculados (Tabela 7).

Tabela 7. Notas atribuídas aos sintomas de clorose de folhas (CL), necrose de folhas (NF), encarquilhamento de folhas (EF), queda de folhas (QF), necrose de raízes (NR), soma total dos sintomas (TS) e número de mudas com ausência de sintomas (AS), que se manifestaram nas mudas de erva-mate inoculadas ou não com *Fusarium oxysporum* e *Fusarium solani*, em função da combinação dos fatores C (C0, C1 e C2 = níveis de calagem) e A (A0, A1, A2 e A3 = níveis de adubação NPK).

Table 7. Grades attributed to the symptoms of leaves chlorosis (CL), leaves necrosis (NF), leaves curling (EF), leaves fall (QF), roots necrosis (NR), total sum of the symptoms (TS) and number of seedlings with absence of symptoms (AS), that if showed in the erva-mate seedlings inoculated or not with *Fusarium oxysporum* and *Fusarium solani*, in function of the combination of the factors C (C0, C1 and C2 = liming levels) and A (A0, A1, A2 and A3 = NPK fertilization levels).

Trat.	CL		NF		EF		QF		NR		TS		AS	
	FOS	SF	FOS	SF	FOS	SF	FOS	SF	FOS	SF	FOS	SF	FOS	SF
C0 A0	0,0	0,2	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	0,0	1,0	1,0	2,0	2,0
C0 A1	0,2	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	2,0	5,0
C0 A2	0,4	0,8	0,6	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	1,4	1,2	2,0	2,0
C0 A3	0,8	0,4	1,0	0,4	0,0	0,0	1,2	0,4	0,2	0,0	3,2	1,2	0,0	2,0
Média	0,4	0,4	0,6	0,3	0,0	0,0	0,5	0,2	0,3	0,0	1,7	0,9	1,5	2,8
C1 A0	1,4	0,2	0,4	0,4	1,0	0,8	0,6	0,0	0,4	0,2	3,8	1,6	0,0	1,0
C1 A1	2,0	0,6	1,4	0,4	1,0	1,2	0,6	0,2	1,8	0,0	6,8	2,4	0,0	0,0
C1 A2	1,8	1,4	0,4	0,2	1,8	0,6	0,2	0,2	1,0	0,2	5,2	2,6	0,0	0,0
C1 A3	1,2	1,0	0,2	0,4	0,6	0,6	0,0	0,2	2,6	0,8	4,8	3,0	0,0	0,0
Média	1,6	0,8	0,6	0,4	1,1	0,8	0,4	0,2	1,5	0,3	5,1	2,4	0,0	0,3
C2 A0	1,0	2,4	0,4	0,0	1,4	1,2	0,2	0,4	2,2	1,4	5,2	5,3	0,0	0,0
C2 A1	4,2	4,0	2,6	1,2	1,8	3,0	0,2	0,4	2,4	1,6	10,8	10,2	0,0	0,0
C2 A2	4,8	4,0	3,8	3,2	3,6	2,2	2,2	0,4	2,0	2,2	16,4	12,1	0,0	0,0
C2 A3	5,0	4,4	4,6	3,0	4,2	2,2	1,6	0,2	2,8	1,6	18,4	11,4	0,0	0,0
Média	3,8	3,7	2,9	1,9	2,8	2,2	1,1	0,4	2,4	1,7	12,7	9,7	0,0	0,0

As notas atribuídas à necrose de raízes (NR) nos tratamentos inoculados foram em média 51% superiores às notas dos não-inoculados. Os tratamentos sem calagem (C0) não-inoculados não apresentaram manifestação do sintoma, assim como os tratamentos C0A1 e C0A2 inoculados (Tabela 7).

Na soma total dos sintomas (TS), os tratamentos inoculados apresentaram notas 34% superiores às notas dos não-inoculados. As maiores notas foram observadas nos tratamentos com maior calagem (Tabela 7).

Os tratamentos C0A0, C0A1 e C0A2 (inoculados) apresentaram em média 40% de mudas sadias (AS) (Tabela 7).

Os sintomas encarquilhamento de folhas, clorose e necrose foliar, amarelecimento, queda de folhas e necrose do sistema radicular, observados neste estudo, foram os mesmos encontrados por Poletto

et al. (2006a) em testes de patogenicidade de *F. oxysporum* e *F. solani* em mudas de erva-mate. No geral, a severidade dos sintomas observados neste experimento foi maior nos tratamentos inoculados em comparação aos tratamentos não-inoculados, para ambas as espécies de *Fusarium* e também quando inoculadas conjuntamente (Tabelas 5, 6 e 7), comprovando a patogenicidade desses fungos.

Analisando-se as notas dos sintomas atribuídos aos tratamentos não-inoculados e inoculados com *Fusarium oxysporum* (Tabela 5), *F. solani* (Tabela 6) e *F. oxysporum* com *F. solani* conjuntamente (Tabela 7), percebe-se que aquelas atribuídas ao *F. oxysporum* foram 7% maiores que as notas dos não-inoculados, seguidos pelo *F. solani*, com 19%, e pelo *F. oxysporum* e *F. solani* conjuntamente, com 34%. Esses resultados são semelhantes aos de Poletto *et al.* (2006a), em que afirmam que essas duas espécies, quando associadas, são mais agressivas à erva-mate. Também se pode afirmar que, nas condições deste estudo, *F. solani* é mais agressivo que *F. oxysporum*.

Observa-se, nas tabelas 5, 6 e 7, que o tratamento C0A1 (não-inoculado) foi o único que não apresentou manifestação de qualquer sintoma (100% de mudas sadias), indicando que a adubação fornecida nesse tratamento é a melhor para o desenvolvimento das mudas. Observa-se, também, que esse tratamento proporcionou maior resistência às mudas em relação ao ataque de *Fusarium*, já que, na soma total dos sintomas, foi o que recebeu as menores notas entre os tratamentos inoculados. Para Marschner (1995), essa resistência pode ser aumentada por modificações na anatomia das células da epiderme e/ou nas propriedades fisiológicas e bioquímicas, como produção de substâncias inibidoras ou repelentes, proporcionada pelo suprimento adequado de nutrientes à planta e também pela alteração nas respostas das plantas aos ataques parasitas, aumentando as barreiras mecânicas (lignificação) e a síntese de compostos tóxicos.

Para Tedesco; Bissani (2004), o crescimento das plantas em solos ácidos, na maioria das vezes, é prejudicado, pois o pH baixo afeta diversos equilíbrios, resultando em menor disponibilidade de alguns nutrientes e na toxicidade de outros, além de interferir na atividade dos microrganismos do solo. Nesse caso, a calagem do solo (tabelas 5, 6 e 7) proporcionou efeito negativo para o desenvolvimento das plantas. O pH do solo acima do exigido pela espécie proporcionou o aparecimento de sintomas severos, induzidos por um possível desequilíbrio fisiológico. Além disso, a planta estressada, por esse motivo, mostrou-se mais propensa ao ataque de patógenos, como também observado por Marschner (1995) e Zambolin *et al.* (2001).

Reissmann; Carneiro (2004), testando cinco níveis de calagem do solo, durante 8 anos seguidos, observaram que as plantas de erva-mate não apresentaram diferenças significativas entre tratamentos nas variáveis altura, diâmetro da copa e produção de biomassa, ficando o tratamento testemunha sem calagem (11,6 % de saturação de bases) com os maiores valores. Em mudas provenientes de estaquia, Santin *et al.* (2007) também observaram resultados negativos nas variáveis de crescimento em função da calagem do solo, o que evidencia a não necessidade de calagem para a erva-mate.

A deficiência de nutrientes no solo pode causar distúrbios fisiológicos nas plantas. Segundo Camargo; Sá (2004), sintomas visuais de deficiência de nitrogênio ocorrem facilmente em plantas não-leguminosas e podem ser observados na forma de amarelecimento ou clorose das folhas e menor desenvolvimento de plantas. Já o excesso de N causa crescimento com fraca estrutura de sustentação e diminuição no rendimento, pela pequena translocação de carboidratos para as sementes ou retardamento da frutificação.

Para Anghinoni; Bissani (2004), quando há uma disponibilidade muito baixa de fósforo no solo, as plantas apresentam sintomas visuais de deficiência, como crescimento reduzido, má fecundação, maturação tardia dos frutos, falhas na granação em cereais e folhas de cor verde-escuras, às vezes arroxeadas. Outras, ainda, apresentam sintomas de amarelecimento ou secamento e morte, partindo das pontas.

A deficiência de potássio não provoca, de imediato, sintomas visíveis. No início da deficiência, ocorre uma redução na taxa de crescimento das plantas e, mais tarde, aparecem as cloroses e necroses. Esses sintomas geralmente começam nas folhas mais velhas, pelo fato de elas suprirem as folhas mais novas com K, quando ocorre a deficiência. Na maioria das plantas, a clorose e a necrose começam nas margens e nas pontas das folhas, entretanto, em algumas espécies, aparecem pontos necróticos distribuídos irregularmente (MEURER; INDA JR., 2004).

Como o cálcio é um elemento imóvel nas plantas, sua deficiência é observada mais facilmente nas partes novas do vegetal, cujo desenvolvimento é prejudicado ou cessa por completo. O crescimento das raízes também é afetado, por isso elas necessitam do elemento no próprio ambiente de absorção de nutrientes, havendo crescimento reduzido em solos deficientes. A deficiência de magnésio nas plantas é observada na forma de amarelecimento das folhas. Como é um elemento móvel na planta, as folhas

velhas apresentam sintomas mais pronunciados e, em algumas plantas, sobretudo as de folhas largas, os sintomas aparecem entre as nervuras (BISSANI; ANGHINONI, 2004).

Barroso *et al.* (2005) estudaram as exigências nutricionais da teca (*Tectona grandis* L. f.) pela técnica do nutriente faltante. Eles observaram que, no tratamento com omissão de nitrogênio, houve redução drástica do crescimento, clorose generalizada, paralisação de emissão de raízes novas e apodrecimento das raízes secundárias. A ausência de fósforo causou encarquilhamento nas extremidades das folhas mais velhas e clorose leve. Nas mudas submetidas à ausência de potássio, foram observados redução do crescimento, clorose internerval, encarquilhamento e pontos necrosados nas folhas mais velhas e redução da emissão de raízes novas. Na ausência de cálcio, observaram redução drástica do crescimento, clorose internerval, encarquilhamento e necrose das folhas, morte da gema apical, paralisação de emissão de raízes novas e apodrecimento das raízes secundárias. As plantas sob ausência de magnésio mostraram clorose internerval.

Para mudas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*), Sereda *et al.* (2007) observaram clorose generalizada e crescimento reduzido na ausência de N. A carência de fósforo proporcionou uma menor expansão do limbo foliar e coloração verde-escura, em consequência do provável acúmulo da antocianina. Na carência de K, as mudas apresentaram necrose nas pontas e bordas das folhas mais velhas.

Embora no presente trabalho o solo original possuísse um conteúdo muito baixo de nutrientes (Tabela 4), a ausência de adubação (tratamento COA0) não proporcionou manifestação de sintomas severos nas mudas, porém elas apresentaram crescimento reduzido (Tabelas 5, 6 e 7). A soma total dos sintomas, para este tratamento, ficou com notas em torno de 2 ou menores. Isso pode ser atribuído a uma característica de adaptação da erva-mate, que cresce, naturalmente, em solos ácidos, com altos teores de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes (PANDOLFO *et al.*, 2003).

O excesso de nutrientes minerais no solo pode causar efeito tóxico às plantas. Ceconi *et al.* (2007), testando diferentes doses de fósforo na produção de mudas de erva-mate, observaram o aparecimento de manchas cloróticas e necróticas nas folhas das mudas, em doses maiores que 540 mg P kg⁻¹ de solo, bem acima da dose máxima aplicada neste estudo (30 mg P kg⁻¹ de solo). Sintomas de clorose foliar também foram observados por Missio; Nicoloso (2005), em plantas de grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) submetidas a dose de 180 mg de P kg⁻¹ de solo. Os mesmos autores, citando Olsen (1997), afirmam que os sintomas de clorose aparecem nas folhas por uma indisponibilização do Fe, causada por maiores concentrações de P e, com isso, prejudicando a síntese de alguns complexos clorofila-proteína no cloroplasto. Em função dos resultados expostos pelos autores acima, pode-se afirmar que, no presente estudo, as doses de P aplicadas não foram suficientes para causar efeito tóxico às mudas.

CONCLUSÕES

- A aplicação de NPK e calcário contribuiu para a maior severidade dos sintomas da podridão-de-raízes da erva-mate causada por *Fusarium* spp.
- A menor manifestação de sintomas da podridão-de-raízes ocorreu com a aplicação de 50% da recomendação de NPK para a erva-mate sem aplicação de calcário.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L.; SALGADO, C. L. Diagnose. In: AMORIM FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Eds.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 224-232.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.; J.; CAMARGO, F. O. A. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 117-138.
- BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. de A.; PEREIRA, R. de C.; MENDONÇA, A. V. R.; SILVA, L. da C. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 671-679, 2005.

- BASSETO, M. A.; CERESINI, P. C.; VALÉRIO FILHO, W. V. Severidade da mela da soja causada por *Rhizoctonia solani* AG-1 IA em função de doses de potássio. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 33, n. 1, p. 56-62, 2007.
- BEDENDO, I. P. Doenças Vasculares. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p. 838-847.
- BISSANI, C. A.; ANGHINONI, I. Enxofre, cálcio e magnésio. In: BISSANI, C. A.; BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.; J.; CAMARGO, F. O. A. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 207-220.
- BLOOM, A. J. Nutrição Mineral. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Eds.). **Fisiologia Vegetal**, 3. ed., Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 96-103.
- CAMARGO, F. O. A.; SÁ, E. L. S. de. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.; J.; CAMARGO, F. O. A. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 93-116.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. **Testes não paramétricos para pesquisas agrícolas**. Santa Maria: UFSM/CCR/Departamento de Fitotecnia, 2001. 87 p.
- CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; MUNIZ, M. F. B. Exigência nutricional de mudas de Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2007.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual e métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; AUER, C. G. Podridão de raízes em Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) causada por *Fusarium* sp. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, p. 572, 2001. Suplemento.
- HUBER, D. M.; THOMPSON, I. A. Nitrogen and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul-USA: APS, 2007. p. 31-44.
- JONES, J. B.; HUBER, D. M. Magnesium and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul-USA: APS, 2007. p. 95-100.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed., New York: Academic Press, 1995. 889 p.
- MEURER, E. J.; INDA Jr, A. V. Potássio e adubos potássicos. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. O. A. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 139-152.
- MISSIO, E. L.; NICOLOSO, F. T. Distúrbios nutricionais induzidos pela adubação de fósforo e ferro em plantas jovens de grápia (*Apuleia leiocarpa*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 377-389, 2005.
- PANDOLFO, C. M.; FLOSS, P. A.; DA CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.
- POLETTO, I.; MUNIZ, M. F. B.; CECONI, D. E.; SANTIN, D.; WEBER, M. N. D.; BLUME, E. Zoneamento e identificação de *Fusarium* spp. causador de podridão-de-raízes em plantios de Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) na região do Vale do Taquari-RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2006a.
- POLETTO, I.; MUNIZ, M. F. B.; CECONI, D. E.; BLUME, E.; WEBER, M. N. D. Caracterização dos ervais com podridão-de-raízes na região do Vale do Taquari-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 39., 2006, Salvador. **Anais...** Salvador: SBF, 2006b. p. 149. (Fitopatologia Brasileira, v. 31, Suplemento).

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Manejo de doenças de plantas com macro e micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA 36., 2003, Uberlândia. **Anais...** Brasília, DF: SBF, 2003. p. 52-53. (Fitopatologia Brasileira, v. 28, Suplemento).

PRABHU, A. S.; FAGERIA, N. K.; BERNI, R. F.; RODRIGUES, F. Á. Phosphorus and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul-USA: APS, 2007. p. 45-55.

REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, C. Crescimento e composição química de Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil), transcorridos oito anos de calagem. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 381-386, 2004.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; ROVEDA, L. F.; WENDLING, I. Calagem no crescimento de mudas de Erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

SEREDA, F.; WINK, C.; BENEDETTI, E.; SANTIN, D.; ROVEDA, L.; SERRAT, B. Sintomatologia de carência e avaliação do desenvolvimento de mudas de *Maytenus ilicifolia* cultivadas em casa de vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. de O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. G. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed., Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 73-99.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed., Porto Alegre, 2004. 394 p.

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

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

ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; VALE, F. X. R. do. Efeito da nutrição mineral sobre doenças de plantas causadas por patógenos de solo. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: UFV, 2001. p. 347-403.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A resistência a doenças induzida pela nutrição mineral das plantas. In: LUZ, W. C da (ed). **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. v. 1, 1993. p. 275-318.