

**SULFATO DE AMÔNIO COMO FONTE DE NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO DE MUDAS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**  
GAIAD S.<sup>1</sup>; RAKOCEVIC M.<sup>1</sup>; REISSMANN, C. B.<sup>2</sup>

**RESUMO**

O efeito de diferentes fontes de nitrogênio nas características químicas do solo rizosférico, bem como seus reflexos na produção de biomassa e na taxa de fotossíntese líquida (Fl) foram estudados em mudas de erva-mate. O experimento foi conduzido em casa de vegetação. Mudas, com seis meses após o repique, foram transplantadas para recipientes contendo um LATOSSOLO VERMELHO, distrófico típico. Quatro tratamentos foram testados: T1 = controle, sem N adicional; T2 = 100 mg de N/kg solo na forma de uréia; T3 = 100 mg de N/kg solo na forma de Ca(NO<sub>3</sub>); e T4 = 100 mg de N/kg solo na forma de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Após 25 dias foram observadas as características de plantas e do solo. Foram avaliados parâmetros morfológicos e efetuada a medição de Fl. Para as análises químicas, o solo foi coletado em duas frações: não rizosférica e rizosférica, e a biomassa foi dividida em raízes, caule, folhas velhas e folhas novas. Houve uma tendência de acidificação da fração rizosférica na fonte amoniacal e de elevação do pH com a fonte nítrica. Mudas que receberam sulfato de amônio apresentaram aumento no número de folhas, na área foliar e na altura em relação à testemunha, e Fl significativamente superior a todos os demais tratamentos. O amônio mostrou-se melhor fonte de nitrogênio para crescimento e produção de mudas de erva-mate.

Palavras chave: fotossíntese, nitrato, rizosfera.

**AMMONIUM SULFATE AS A NITROEN SOURCE FOR FERTILIZATION OF MATÉ (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) SEEDLINGS**

**ABSTRACT**

The effect of different N source on chemical characteristics of rhizosphere soil fraction and its effects on biomass production and in net photosynthesis rate (Pn) were studied. Erva-mate seedlings were bare rooted and transplanted to plastic bags in glasshouse conditions. Bags were filled up with an Oxisol soil. Four treatments were set up: T1 = no extra N added; T2 = 100 mg N/kg soil as urea; T3 = 100 mg N/kg soil as Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; and T4 = 100 mg N/kg soil as (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Seedlings were let to grow during 25 days when they were harvested. Morphological characteristics and Pn were evaluated one day before a harvest. Chemical analysis of soil and biomass were performed. Rhizosphere and bulk soil were collected separately and the biomass was split in roots, stem, old and new leaves. There was a tendency in rhizosphere acidification in plants received ammonium sulfate, and in pH increase of plants nourished with nitrate. Ammonium fed seedlings showed an increase in number of leaves, leaf area and plant height compared to control as well as a Pn as compared to other treatments. Maté seedlings have a better overall growth and production when nourished with the ammonium source.

---

<sup>1</sup> *Embrapa Florestas*, Estrada da Ribeira km 111, 83411-000 Colombo, PR, Brasil, fone: (55-41) 666-1313; e-mail: [gaiad@cnpf.embrapa.br](mailto:gaiad@cnpf.embrapa.br), [mima@cnpf.embrapa.br](mailto:mima@cnpf.embrapa.br)

<sup>2</sup> Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. R. dos Funcionários, 1540. 80035-050. Curitiba, PR, fone: (55 41) 350-5602; e-mail: [reissman@agrarias.ufpr.br](mailto:reissman@agrarias.ufpr.br)

Key words: photosynthesis, nitrate, rhizosphere.

## INTRODUÇÃO

Dentre as principais preocupações na exploração dos ervais estão sua produtividade e sustentabilidade. Como as partes extraídas da erva-mate são suas folhas e ramos finos, existe uma grande exportação de nutrientes do ecossistema sendo que o elemento exportado em maior quantidade é o nitrogênio (REISSMANN ET AL. 1985; WISNIEWSKI, et al. 1996), podendo chegar, em termos equivalentes, a cerca de 500 kg de uréia.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (LOURENÇO, 1997).

A falta de nitrogênio (N) paralisou o crescimento de mudas de erva-mate, crescendo em solução nutritiva (BELLOTE & STURION, 1985), mostrando a importância do mesmo para o desenvolvimento da espécie. Menores concentrações de N foliar foram relacionadas com menores alturas das plantas e menor diâmetro de copa (FOSSATI & REISSMANN, 1997). Por outro lado, LOURENÇO et al. (1997) testando duas fontes de N, uréia e sulfato de amônio, com diferentes doses e a aplicação de cobertura morta, durante quatro anos e meio, em três tipos de solo, verificaram resposta positiva à aplicação de N somente em solo de textura média, sendo indiferente à fonte de N utilizada. Estes autores concluíram ainda ser altamente recomendável o uso de cobertura morta nos plantios de erva-mate.

Outros autores, porém, trabalhando com mudas, estabeleceram relação positiva entre a aplicação de N e a produção de biomassa. PINTRO et al. (1998) estudando mudas crescendo por 120 dias em condições controladas, verificaram que enquanto a adição de P e K não afetou o desenvolvimento das plantas, os tratamentos nitrogenados aumentaram significativamente a altura, o número de folhas, a área foliar e a produção de biomassa, comparado com a testemunha. De maneira semelhante, ZAMPIER (2001) avaliando mudas crescendo em viveiro, que receberam diferentes doses de N-P-K ou fertilizante orgânico, verificou que N foi o elemento limitante à produção de biomassa foliar em erva-mate.

Raízes de plantas absorvem nitrogênio na forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. O limite para absorção e assimilação destas fontes primariamente pode ser o metabolismo de carbono (dependente da irradiação e fotossíntese), para a formação do esqueleto carbônico de aminoácidos. Como resposta, os próprios metabólitos de nitrogênio podem regular a absorção (LAM et al. 1996). SOUSSANA et al. (2000) desenvolveram um modelo de co-limitação de crescimento de órgãos vegetais pela luz e pelo nitrogênio mineral.

Erva-mate é espécie tolerante a Al<sup>3+</sup>, não responde positivamente à calagem (REISSMANN et al. 1999) e suporta elevados níveis de acidez do solo (LOURENÇO, 1997), apresentando características próprias e muitas vezes distintas das respostas relatadas em literatura para a maioria das espécies. As respostas à adição de fertilizantes ou práticas que visem um incremento na produtividade ou no equilíbrio nutricional em ervais, visando sua sustentabilidade, tem sido inconsistentes (LOURENÇO, 1997). O objetivo deste trabalho é o esclarecimento desses comportamentos através do entendimento dos mecanismos e reações que ocorrem no sistema radicial da espécie, mais especificamente na rizosfera, e seus reflexos na fisiologia das plantas, a fim de que se possa explorar da melhor maneira possível e de forma mais racional os insumos a serem aplicados na cultura.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Instalação e Condução do Experimento*

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro Nacional de Pesquisa de Florestas da EMBRAPA, de setembro e dezembro de 2002. Em mudas selecionadas de erva-mate, com seis meses após a repicagem, as raízes foram lavadas para a retirada de todo o substrato original, podadas para cerca de 50% do sistema radicial inicial e transplantadas para recipientes de polietileno, com 1,2 litros de capacidade, preenchidos com solo. O solo utilizado foi um latossolo vermelho distrófico típico, A proeminente, textura média e relevo ondulado, com as seguintes características: pH (CaCl<sub>2</sub>)= 4,00; K<sup>+</sup>= 0,09 cml/dm<sup>3</sup>; Ca<sup>2+</sup>=0,97 cml/dm<sup>3</sup>; Ca+Mg= 2,31 cml/dm<sup>3</sup>; Al<sup>3+</sup>= 2,38 cml/dm<sup>3</sup>; H+Al= 8,50 cml/dm<sup>3</sup>; matéria orgânica (MO)= 24,99 g/dm<sup>3</sup>; P= 1,00 mg/dm<sup>3</sup>; Na<sup>+</sup>= 7,00 mg/dm<sup>3</sup>.

As mudas foram deixadas sem nenhum tratamento por 35 dias até seu completo estabelecimento quando foi então aplicada uma solução de nivelamento, para todas as mudas, com 20 mg N/kg de terra fina seca ao ar (TFSA) na forma de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 60 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 mg de K<sub>2</sub>O/kg TFSA na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. As mudas cresceram então por mais 15 dias quando foram aplicados os tratamentos. Os seguintes tratamentos foram aplicados em uma única etapa: T1 = Testemunha, sem aplicação de N mineral adicional; T2 = NO<sub>3</sub>, aplicação de 100 mg N/kg de TFSA na forma de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; T3 = Uréia, aplicação de 100 mg de N/kg TFSA, na forma de Uréia; e T4 = NH<sub>4</sub>, aplicação de 100 mg de N/kg de TFSA, na forma de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Após a aplicação dos tratamentos as plantas cresceram por 25 dias quando foram colhidas.

Na coleta as planta foram divididas nos compartimentos: raiz, caule, folhas novas (folhas emitidas após a aplicação dos tratamentos) e folhas velhas (folhas existentes previamente à aplicação dos tratamentos). O material vegetal de cada parcela foi coletado conjuntamente, originando uma amostra composta para cada compartimento, por parcela. O material vegetal foi **seco** em estufa de circulação forçada, a 60°C, até peso constante, quando foram anotados os valores de peso seco e encaminhados para análise.

O solo foi coletado separando-se, manualmente, a fração rizosférica. O solo facilmente desprendido das raízes foi considerado o solo não rizosférico, enquanto aquele que necessitava de uma ação mais vigorosa para se desprender foi denominado de fração rizosférica. Cada fração de solo coletada, em cada parcela, foi homogeneizada e extraída uma alíquota para a determinação das características químicas das mesmas.

### *Análises Químicas*

Na análise do material vegetal, utilizou-se a digestão nitro-perclórica para os elementos P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, e digestão sulfúrica para N. As determinações foram realizadas utilizando-se destilação micro-Kjeldahl para N, colorimetria para P, fotometria de chama para K e espectrofotometria de absorção atômica - chama ar/acetileno, para Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. As análises químicas de solo foram realizadas seguindo EMBRAPA (1979).

### *Fotossíntese e propriedades morfológicas de erva-mate*

A fim de se correlacionar os efeitos dos tratamentos aplicados, a parâmetros fisiológicos, efetuou-se o acompanhamento da fotossíntese líquida (Pn) e da morfogênese das plantas. Para isto foram selecionadas 8 mudas de cada tratamento. No início, as mudas

apresentavam de 8 a 10 folhas, com características fenotípicas semelhantes em termos de arquitetura da muda e tamanho de folha.

Os seguintes parâmetros morfológicos: altura da planta (cm), comprimento de cada entrenó (cm), comprimento e largura de folhas (cm), medidos com régua, o estado fisiológico de cada folha (madura ou nova) e número de folhas foram avaliados 25 após a aplicação de diferentes fontes de nitrogênio. Medições de comprimento e largura de folhas foram usados para avaliação de área foliar ( $\text{cm}^2$ ), não para exprimir o valor absoluto, mas para comparação entre os tratamentos.

A fotossíntese líquida (Pn), expressa em  $\mu\text{mol de CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , foi medida com o medidor de fotossíntese LI-6200 (LICOR, E.U.A.), em procedimento de 4 medições programadas para cada folha, cada uma com duração de 5 segundos. As medições de morfogênese e taxa de fotossíntese líquida foram realizadas 25 após a aplicação dos tratamentos.

### *Análise Estatística*

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias dos parâmetros analisados foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de até 10% de probabilidade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As alterações nas propriedades químicas do solo decorrentes da aplicação de diferentes fontes de N são apresentadas na Tabela 1. Observa-se uma tendência de diminuição do pH rizosférico com a aplicação da fonte amoniacal, associada a um aumento significativo na concentração de  $\text{Al}^{3+}$  e na acidez potencial (H+Al) e uma diminuição nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , comparativamente à fonte nítrica. O decréscimo nos valores de pH do solo, decorrentes do uso da fonte amoniacal é relacionado a uma despolarização da membrana, que acarreta maior excreção de íons  $\text{H}^+$  por parte da planta (GAHOONIA ET AL., 1992; MARSCHNER, 1995).

Ao mesmo tempo, ocorreu uma tendência de elevação do pH, com o uso da fonte nítrica. Observa-se que apesar de não haver diferença estatística entre tratamentos, esta tendência pode ser evidenciada pelo comportamento de características associadas ao pH, tais como: a diminuição significativa da acidez potencial (H+Al) e dos teores de  $\text{Al}^{3+}$ , integrados a um aumento na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  do solo rizosférico, comparativamente à fonte amoniacal. Na absorção de nitrato existe um consumo de  $\text{H}^+$  do meio externo e uma produção de  $\text{OH}^-$ , durante a redução desse nitrato, que é liberado para o meio externo e acarreta a elevação do pH (MARSCHNER, 1995). As tendências observadas estão de acordo com o comportamento relatado em literatura para a maioria das espécies (GAHOONIA et al., 1992; MARSCHNER, 1995).

Não foram observadas alterações significativas nas características relacionadas ao potássio, magnésio, hidrogênio, matéria orgânica (MO), fósforo, sódio, CTC e soma de bases (S).

Tabela 1. Características químicas do solo rizosférico de mudas de erva-mate submetidas a diferentes fontes de N, 25 dias após a aplicação dos tratamentos.

Características Químicas	Sem N	Uréia	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,09 (a)	4,12(a)	4,19(a)	4,01(a)
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,10(a)	0,08(a)	0,10(a)	0,10(a)
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,75(b)	0,92(b)	1,50(a)	0,58(b)
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,12(a)	0,98(a)	0,73(a)	0,97(a)
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,24(b)	2,30(b)	2,69(b)	3,82(a)
H <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	5,14(a)	5,10(a)	3,20(a)	4,44(a)
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	7,39(ab)	7,40(ab)	5,89(b)	8,26(a)
M.O. (g/dm <sup>3</sup> )	21,22(a)	20,93(a)	22,80(a)	24,21(a)
P(mg/dm <sup>3</sup> )	1,87(a)	1,63(a)	1,13(a)	1,33(a)
Na <sup>+</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	20,00(a)	11,67(a)	22,00(a)	21,67(a)
CTC	9,36(a)	9,37(a)	8,22(a)	9,92(a)
S	1,97(a)	1,98(a)	2,33(a)	1,66(a)

<sup>1-</sup> Valores seguidos da mesma letra, dentro da linha, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 10% de probabilidade (p<.010) de acordo com o Teste de Tukey. - CTC = S+H+Al; <sup>2-</sup> S=Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+K<sup>+</sup>

Os dados relacionados às características morfológicas e à fotossíntese estão demonstrados na Tabela 2. Os parâmetros morfológicos avaliados foram favorecidos pela aplicação da fonte amoniacal de N, relativamente ao controle. O número de folhas em plantas que receberam a fonte amoniacal foi superior também às que receberam a fonte uréia. WIESLER (1997) observou aumento no perfilhamento de trigo em plantas nutridas com amônio, mas destacou que a resposta é dependente da espécie. Mudas de *Pinus radiata* submetidas a diferentes formas de N apresentaram maiores altura, peso seco aéreo e quantidade total de Cu e B quando receberam a fonte amoniacal do que aquelas que receberam a fonte nítrica (OLYKAN & ADAMS, 1995). Com exceção da diferença observada entre a fonte amoniacal e uréia quanto ao número de folhas, nos demais parâmetro morfológicos não houve diferença entre as fontes de N (Tabela 2).

Alguns estudos mostram uma diminuição da superfície das folhas de plantas supridas com amônio (RAAB & TERRY, 1994), embora isto não signifique necessariamente, uma diminuição da fotossíntese líquida por unidade de área, em todas as espécies (TAKÁS & TÉCSI, 1992). Plantas de erva-mate nutridas com amônio apresentaram incremento de cerca de 80% na fotossíntese líquida, em relação ao controle. Por sua vez, em plantas nutridas com uréia, a segunda fonte a apresentar maior alteração na taxas de fotossíntese, este percentual foi apenas 20% superior ao apresentado pelo controle, enquanto na fonte nítrica a taxa de fotossíntese líquida foi praticamente idêntica ao controle (Tabela 2).

Nota-se, portanto, que a fonte amoniacal influenciou de forma significativa à taxa de fotossíntese líquida, comparativamente aos demais tratamentos, apesar de não se diferenciar morfológicamente das plantas nutridas com as demais fontes de N. Estes resultados reforçam a tese de KANDLBINDER et al. (1997) de que, mesmo quando plantas crescem de forma

similar, tanto com a fonte nítrica quanto com a amoniacal, elas podem diferir em muitos aspectos em relação à sua atividade metabólica e composição iônica, como resultado de diferentes respostas fisiológicas.

Tabela 2: Parâmetros morfológicos e resultado da análise da fotossíntese em mudas de erva-mate submetidas a diferentes fontes de N.

Tratamento	número de folhas	AF (cm <sup>2</sup> )	biomassa (g)	altura (cm)	Fotossíntese líquida (μmol CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )
Controle	12,2 (b) <sup>1</sup>	2834 (b)	1,39 (b)	13,16 (b)	4,97 (bc)
Uréia	12,9 (b)	3324 (a)	1,55 (ab)	14,23 (ab)	5,97 (b)
Nitrato	14,2 (a)	3183 (ab)	1,56 (ab)	14,45 (ab)	4,94 (c)
Amônio	14,9 (a)	3215 (a)	1,67 (a)	14,87 (a)	8,99 (a)

1- Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de 10% pelo Teste de Tukey

A análise dos teores de N nos diferentes compartimentos das mudas de erva-mate, em função dos tratamentos recebidos são apresentados na Tabela 3. Nota-se que as fontes amônio e nitrato apresentam valores sempre superiores ao controle, independente do compartimento analisado. Destaque-se ainda, os teores de N no caule, onde todos os tratamentos diferem estatisticamente entre si, com plantas nutridas com nitrato apresentando os maiores teores, seguido daquelas que receberam as fontes amônio, uréia e controle, respectivamente. Dentro de uma espécie, geralmente, a capacidade fotossintética é altamente correlacionada com a concentração de N nas folhas, devido à grande fração de N alocado no aparato fotossintético (HIKOSAKA & HIROSE, 2000). Isto, porém, não aconteceu neste experimento. Enquanto um aumento no teor de N observado na fonte amônio coincidiu com um aumento significativo na taxa de fotossíntese líquida (Tabela 2), teores equivalentes de N em plantas nutridas com a fonte nitrato, resultaram em taxas de fotossíntese líquida praticamente idênticas às observadas no controle. Isto pode estar indicando que plantas nutridas com a fonte nítrica utilizam o N absorvido em maior proporção na formação de proteínas estruturais (caule) do que em atividades fotossintéticas (folhas).

Tabela 3: Teor de N (g/kg) nos diferentes compartimentos das mudas em função da fonte de N utilizada.

Compartimento	Controle	Uréia	Nitrato	Amônio
Caule	7,51 (d)	10,22 (c)	15,39 (a)	12,21 (b)
Folha velha	13,03 (b)	14,43 (b)	16,99 (a)	17,01 (a)
Folha nova	15,91 (b)	25,41 (a)	28,26 (a)	27,87 (a)

<sup>1</sup>- Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si ao nível de 10% pelo Teste de Tukey

CLAUSSEN E LENZ (1999) destacam que a fotossíntese líquida pode diminuir ou aumentar quando as plantas são nutridas com nitrogênio amoniacal, dependendo tanto da espécie, como do pH da solução nutriente. Os mesmos autores discutem que plantas de origem de solos ácidos, com alto teor de matéria orgânica, podem aumentar tanto a assimilação líquida, quanto o conteúdo de clorofila com a aplicação de amônio. Seu exemplo foi *Vaccinium corymbosum*, espécie de origem de solos ácidos montanhosos, que não reagem positivamente a correção do solo com CaCO<sub>3</sub>. Erva-mate cresce bem em solos bastante

ácidos, com pH (CaCl<sub>2</sub>) de 3,4 (LOURENÇO, 1997) e também não responde positivamente à calagem (REISSMANN et al. 1997; PINTRO et al. 1998).

## CONCLUSÕES

A fonte amoniacal influenciou de forma significativa a taxa de fotossíntese líquida de erva-mate, comparando com as fontes de uréia e nitrato.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos ao Guilherme Erthal Risi e Ulysses Rocha Netto, os estagiários de Embrapa Florestas e alunos de UFPR, pelo auxílio técnico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLOTE, A.F.J.; STURION, J.A. Deficiências minerais em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) - Resultados preliminares. *In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS*, X (Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil)), 1985, Curitiba, **Anais...**Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p. 124-127.
- CLAUSSEN, W.; LENZ, F. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. **Plant and Soil**, v. 208, p. 95-102, 1999.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. EMBRAPA-SNCLS, Rio de Janeiro, 1979.
- FOSSATI, L. C.; REISSMANN, C. B. Avaliação do estado nutricional e da produtividade de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (erva-mate), em função do sítio. *In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE*, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo. EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 439. (Serie Documentos nº33).
- GAHOONIA, T.S.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. **Plant and Soil**, v. 140, p. 241-248, 1992.
- KANDBINDER, A.; CRUZ, C. DA; KAISER, W.M. Response of primary plant metabolism to the N-source. **Z.Pflanzenernähr Bodenk**, Weinheim, v.160, p.269-274, 1997.
- HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Photosynthetic nitrogen-use efficiency in evergreen broad-leaved woody species coexisting in a warm-temperate forest. **Tree Physiology**, v. 20, p. 1249-1254, 2000.

- LAM, H-M.; COSCHIGANO, K. T.; OLIVEIRA, I. L.; MELO-OLIVEIRA, R; CORUZZI G. M. The molecular genetics in nitrogen assimilation into amino-acids in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, n. 47, p. 569-593, 1996.
- LOURENÇO, R.S. Adubação da erva mate. In: *In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE*, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...Colombo**. EMBRPA-CNPf, 1997. p.299-315. (Serie Documentos nº33).
- LOURENÇO, R.S.; CURCIO, G.R.; RACHWAL, M.F.G.; MEDRADO, M.J.S. Avaliação de níveis de nitrogênio sobre a produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro-PR, em latossolo vermelho-escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 34, p. 75-98, 1997.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London. Academic Press. 1995. 889 p.
- OLYKAN, S.T.; ADAMS, J.A. *Pinus radiata* seedling growth and micronutrient uptake in a sand culture experiment, as affected by the form o nitrogen. **New Zealand Journal of Forestry Science** v. 25, n. 1, p. 49-60, 1995.
- PINTRO, J. C.; MATUMOTO-PINTRO, P. T.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Crescimento e desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em solo sob diferentes níveis de fertilidade. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 20, n. 3, p. 285-289. 1998.
- RAAB, T. K.; TERRY, N. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. **Plant Physiology**, v. 105, p. 1159-1166, 1994.
- REISSMANN, C. B.; KOELER, C. W.; ROCHA, H. O. da; HILDEBRAND, E. E. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exploração da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, X (Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil)), 1985, Curitiba, **Anais...Curitiba: EMBRAPA-CNPf**, 1985. p. 128-139.
- REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M.I.; QUADROS, R. M. B.de. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St.Hil. under different management conditions in seven localities of Paraná State. **Brasilian Archieves of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 187-194, 1999.
- SOUSSANA, J. F.; TEYSSONNEYRE, F.; THIERY, J. M. Un modèle dynamique d'allocation base sur l'hypothèse d'une co-limitation de la croissance végétale par les absorptions de lumière et l'azote. In MAILLARD P, BONHOMME R **Fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales**. Paris: I.N.R.A. Editions, 2000. p. 87-112.
- TAKÁCS. E.; TÉCSI L Effects of  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratio on photosynthetic rates, nitrate reductase activity and chloroplast ultrastructure in three cultivars of red pepper (*Capiscum annum* L.). **Journal of Plant Physiology**, v. 140, p. 298-305, 1992.

- WIESLER, F. Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. **Z. Pflanzenernähr. Bodenk**, v. 160, p. 227-238, 1997.
- WISNIEWSKI, C.; JINZENJI, F.; CLARO, A. M.; SOUZA, R. M. DE. Exportação de biomassa e macronutrientes com a primeira poda de formação da erva-mate na região de Pinhais-PR. **Revista do Setor de Ciências Agrária**, Curitiba, v. 15, p. 179-186, 1996.
- ZAMPIER, A. C. **Avaliação dos níveis de nutrientes, cafeína e taninos em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.Hil.) após adubação, e sua relação com a produtividade**. Curitiba, 2001. 103 f. Dissertação (Mestrado) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.