

Influência da adubação NPK no rendimento do óleo essencial de *Eucalyptus camaldulensis*

Ricardo Carvalho dos Santos^{a*}, Antonio Alves de Melo Filho^a, Habel Nasser Rocha da Costa^a, Francisco dos Santos Panero^a, Hosana Carolina dos Santos Barreto^a, Mirian Cristina Gomes Costa^b, Hélio Tonini^c, Rita de Cássia Pompeu de Sousa^c

^aPrograma de Pós-Graduação em Química – Universidade Federal de Roraima, UFRR. Av. Cap. Ene Garcez, nº 2413, Bairro Aeroporto, CEP: 69.304-000, Boa Vista-RR, Brasil.

^bCentro de Ciências Agrárias, Campus do Pici – Universidade Federal do Ceará, UFC, CEP: 60.021-970, Fortaleza-CE, Brasil.

^cCentro de Pesquisas Agroflorestal de Roraima, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, CEP: 69301-970, Boa Vista-RR, Brasil.

Received: 22 April 2010; revised: 14 October 2010; accepted: 16 November 2010.

ABSTRACT: *Eucalyptus camaldulensis* is a species of eucalyptus with potential for establishment of planted forests in the savannah area of Roraima. Little is known about the appropriate management of *E. camaldulensis* in the conditions of the savannah of Roraima, and for this reason, an experiment was conducted to evaluate the effects of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in the production of essential oil of the species. The experiment was conducted in $\frac{1}{2} 4^3$ fractional factorial design, that evaluated four doses of N (0, 50, 100, 200 kg ha⁻¹), P (0, 30, 60, 120 kg ha⁻¹) and K (0, 50, 100, 200 kg ha⁻¹). One year after planting, the yield of essential oil was determined in fresh leaves, with extraction performed by the method of hydrodistillation in Clevenger type system. The yield of essential oil was changed mainly due to fertilization, increasing from 0.43 to 0.62% as it increased the doses of P. These values were within the range of 0.3 to 2.8% in the literature to yield essential oil in fresh leaves of *E. camaldulensis*. The highest oil yield was observed with a dose of 120 kg ha⁻¹ phosphorus.

Keywords: primary macronutrients; no-timber forest products; secondary metabolites; cineole; eucalyptus.

Introdução

Os vegetais têm duas formas de defesa, estas podem ser físicas e/ou químicas. Essas defesas impedem que inimigos naturais, como as bactérias, fungos, animais e insetos, ataquem ou se aproximem. As defesas físicas dispõem de diversos mecanismos,

* Corresponding author. E-mail: ricardocs.br@gmail.com

o mais conhecido são os espinhos, e as defesas químicas são os metabólitos secundários. Dentre estes metabólitos estão compostos hidrofóbicos voláteis mais conhecidos como óleos essenciais, os quais podem ser expelidos pela planta para atrair ou repelir insetos polinizadores [1].

Os óleos essenciais são substâncias odoríferas voláteis de mistura complexa de diversas funções orgânicas. São utilizados na indústria de perfumaria e alimentícia, na agricultura e na medicina. Alguns exemplos de espécies produtoras são manjerição, camomila, alfavaca, eucalipto, e outros [2-4].

O gênero *Eucalyptus* pertence à família da Myrtaceae, é nativa da Austrália. A espécie em estudo, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn., resiste a situações climáticas extremas, como calor ou frio, bem como deficiências hídricas e nutricionais. Do eucalipto obtém-se a celulose, madeira (lenha, movelaria, postes e cercados) e os óleos contidos em suas folhas possuem uso estético e medicinal, tendo como componente majoritário o cineol [3, 5-8]. O cineol ou eucaliptol é um monoterpene, o qual é o principal componente encontrado no óleo essencial das folhas de eucalipto, o mesmo é utilizado na medicina tradicional para bronquite, sinusite e resfriados [9-10].

O óleo essencial de eucalipto possui importante controle biológico na agricultura, devido às suas atividades antimicrobianas, acaricida, nematicida, herbicida e repelente de insetos. Sendo assim, pode-se utilizar o óleo essencial de eucalipto como inseticida natural, evitando, assim, uso de agrotóxicos sintéticos. Na medicina é utilizado como antisséptico, antifúngico, antibacteriano, expectorante e aumenta o número de células mortas que causam a leucemia [3, 9, 11-14].

A produção de óleo essencial de eucalipto tem se tornado muito rentável para diversos países, principalmente o Brasil, o qual exportou, no período de 2005-2008, 1.237 toneladas desse óleo. No Brasil os óleos essenciais das espécies *E. globulus*, *E. citriodora* e *E. staigeriana* são os mais utilizados na perfumaria e na medicina [3].

O estabelecimento de florestas plantadas de eucalipto surge como uma alternativa para viabilizar o uso e evitar a degradação de áreas alteradas no cerrado roraimense. A espécie *E. camaldulensis*, por sua rusticidade, apresenta bom potencial para plantios nas condições de clima e solo de Roraima. A espécie em estudo possui bom rendimento de óleo essencial e alto teor de cineol.

Os percentuais de rendimento e composição do óleo volátil variam de acordo com as espécies, fatores climáticos, condições de solo, manejo da cultura, entre outros. Esses percentuais de rendimento e composição do óleo essencial podem aumentar, ou não, devido à concentração da adubação [7, 15-18].

Brant e colaboradores (2010) verificaram que em uma das doses de adubação

com esterco bovino houve aumento significativo de óleo essencial de *Aloysia triphylla*. Enquanto Alsafar e Al-Hassan (2009) apresentaram importante aumento de massa foliar e de óleo essencial da espécie vegetal *Mentha longifolia* L. em tratamento de 75/50 kg N/P₂O₅. Junior e colaboradores (2005) sugerem o tratamento de adubação mista sem calagem de alta concentração, assim fornece alto rendimento de óleo essencial da espécie *Lychonophora ericoides*.

Foram iniciados estudos sobre a influência de doses de macronutrientes primários (NPK) no desenvolvimento inicial do *E. camaldulensis* nas condições de Roraima. Supõe-se que as doses de nutrientes não afetam somente o crescimento e a produção de biomassa da espécie, mas também, a produção de metabólitos secundários. Desta maneira, o presente estudo objetivou avaliar o efeito de doses de NPK no rendimento de óleo essencial do *E. camaldulensis*.

Material e Métodos

Área experimental

O experimento foi realizado em área da Embrapa Roraima, localizada no município de Boa Vista (RR). A localização geográfica da área experimental é 60°43'51"S e 2°45'25,8"N. O clima é Aw, conforme o sistema de classificação de Köppen, com duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa de abril a setembro e outra seca de outubro a março [21]. O solo da área experimental apresentou a seguinte caracterização química na profundidade de 0-20 cm: pH_{H2O} = 4,8; Ca = 0,25 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,65 cmol_c dm⁻³; K = 0,01 cmol_c dm⁻³; Al = 0,61 cmol_c dm⁻³; H+Al = 2,64 cmol_c dm⁻³; CTC_t = 3,6 cmol_c dm⁻³; CTC_e = 1,5 cmol_c dm⁻³; V(%) = 25,6 e m(%) = 40.

Para correção do solo da área experimental foi feita calagem utilizando o critério para aumento dos teores de Ca e Mg. Nesse critério, bastante usual dentre as técnicas de recomendação de calagem para espécies perenes, o cálculo da necessidade de calcário é feito com base nos teores iniciais dos cátions no solo, no poder relativo de neutralização do calcário (PRNT) e no fator 20 que normalmente é adotado para o eucalipto [22]. O fornecimento de micronutrientes foi garantido a partir da aplicação de FTE BR12, visando 1 kg ha⁻¹ de boro e 4 kg ha⁻¹ de zinco. Por ocasião do transplante das mudas no campo no período chuvoso, as doses de P₂O₅ foram aplicadas na sua totalidade no sulco de plantio, enquanto que a adubação NK foi parcelada, visando maior eficiência de utilização dos fertilizantes. A uréia foi a fonte de N utilizada no experimento, enquanto que as fontes de P₂O₅ e K₂O foram o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente.

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi fatorial fracionário 1/2 4³ [23-24]. Metade das

combinações de um fatorial completo foi testada, resultando em 32 tratamentos sem repetições e divididos em dois blocos (Figura 1). Apenas as combinações consideradas biologicamente mais interessantes foram avaliadas (Tabela 1). As parcelas experimentais foram constituídas por 40 plantas com espaçamento de 3 x 2 m. A área útil foi aquela ocupada pelas 18 plantas centrais (Figura 2).

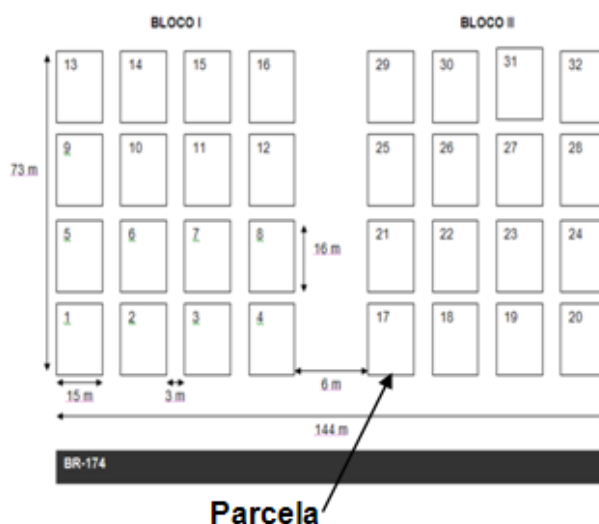


Figura 1. Representação das 32 parcelas distribuídas em dois blocos na área experimental.

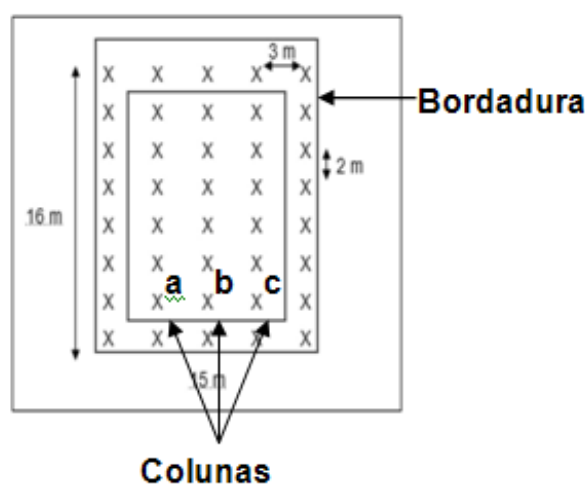


Figura 2. Representação da parcela experimental com 18 árvores na área útil.

Coleta, extração e avaliação do rendimento de óleo essencial

Para avaliar o rendimento de óleo essencial, em dezembro de 2008 foram coletadas folhas de três plantas úteis de cada parcela. A coleta foi realizada no período da manhã, retirando-se somente folhas frescas e de boa aparência das árvores [2].

Para cada amostra, a extração de óleo essencial foi feita em três repetições em

laboratório. Foi empregado o processo de hidrodestilação com sistema tipo *Clevenger*, onde a extração foi realizada até obtenção de volume constante de óleo essencial, ou seja, por período de 4 horas [25-27] e de 3 a 4 vezes ao dia.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos e doses totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) aplicadas nos tratamentos

Tratamento ¹	N	P	K
Bloco I		Kg ha ⁻¹	
111	0	0	0
122	0	30	50
133	0	60	100
144	0	120	200
212	50	0	50
221	50	30	0
234	50	60	200
243	50	120	100
313	100	0	100
324	100	30	200
331	100	60	0
342	100	120	50
414	200	0	200
423	200	30	100
432	200	60	50
441	200	120	0
Bloco II		Kg ha ⁻¹	
114	0	0	200
123	0	30	100
132	0	60	50
141	0	120	0
213	50	0	100
224	50	30	200
231	50	60	0
242	50	120	50
312	100	0	50
321	100	30	0
334	100	60	200
343	100	120	100
411	200	0	0
422	200	30	50
433	200	60	100
444	200	120	200

¹ 1, 2, 3 e 4 representam as doses de nutrientes dentro de cada tratamento

Após a extração, a umidade do óleo essencial foi retirada utilizando sulfato de

sódio anidro. Na seqüência o material foi filtrado, acondicionado em embalagens de vidro âmbar e mantido resfriado [2, 28]. O rendimento de óleo foi avaliado calculando a porcentagem em relação à massa inicial das folhas.

Análise estatística

A análise estatística dos dados foi feita a partir da média aritmética das três repetições do processo laboratorial de extração, de modo que as médias passaram a representar o rendimento de óleo de cada parcela experimental. Os dados foram testados para verificar diferença significativa entre tratamentos usando o teste de análise da variância (ANOVA) em blocos incompletos. Usando o procedimento GLM do SAS [29], foram calculadas funções-resposta do tipo $Y = b_0 + b_1N + b_2N^2 + b_3P + b_4P^2 + b_5K + b_6K^2 + b_7NP + b_8NK + b_9PK$, onde Y é a variável dependente, b_0 a b_9 são os coeficientes de regressão e N , P e K são as doses de NPK aplicadas ao longo do experimento. A variável dependente foi a medida de rendimento de óleo essencial.

Se, por exemplo, respostas foram observadas somente para N , a função-resposta foi simplificada para $Y = b_0 + b_1N + b_2N^2$, calculada pela substituição de valores de P e K iguais à menor dose testada, estimando assim novos coeficientes de regressão de modo que os coeficientes não-significativos não afetaram o novo modelo [30].

Resultados e Discussão

O rendimento de óleo essencial foi afetado pela adubação (Tabela 2). Houve diferença no rendimento de óleo principalmente em função das doses crescentes de P (Figura 3). Com a adubação fosfatada o rendimento de óleo essencial do *E. camaldulensis* passou de 0,45 para 0,62% o que está de acordo com a literatura na qual verifica-se que a faixa de rendimento de óleo em folhas frescas de *E. camaldulensis* é de 0,3 a 2,8% [30-31].

Tabela 2. Função-resposta para rendimento de óleo essencial de *E. camaldulensis* em função da adubação NPK

Parâmetro	Coeficiente	PR > t
N	-0,0006281	0,5870
N ²	0,0000030748	0,5284
P	0,0052652293	0,0114
P ²	-0,0000165365	0,2282
K	-0,0023112973	0,0552
K ²	0,0000078408	0,1170
NP	-0,0000122150	0,0734
NK	0,0000046250	0,2477
PK	-0,0000103252	0,1261
R ²		0,57
CV (%)		21,78

Foi constatado que quando o *E. camaldulensis* foi plantado em solos arenosos nas condições climáticas de Anhembi (SP), o rendimento médio de óleo essencial foi

correspondente a 0,32% para diferentes épocas do ano [32]. O máximo rendimento verificado para a espécie foi de 0,41% e esse valor é inferior ao encontrado no presente estudo em que o *E. camaldulensis* foi adubado com diferentes doses de fósforo nas condições edafoclimáticas de Roraima.

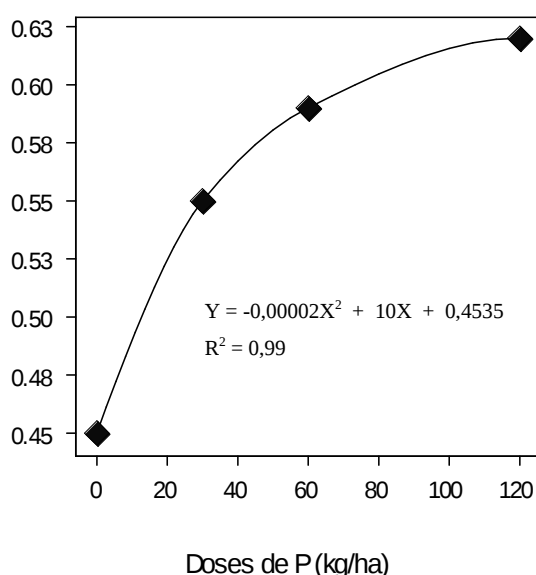


Figura 3. Rendimento de óleo essencial de eucalipto em função das doses de P.

O fósforo é fundamental na composição do trifosfato de adenosina (ATP), o qual armazena e transporta energia do meio externo, permitindo a síntese de substâncias orgânicas e a absorção de nutrientes. Para sintetizar monoterpenos, que constituem 90% dos óleos essenciais, há diversas reações de fosforilação e o ATP é fundamental na doação de energia e do íon fosfato na reação. Conseqüentemente, plantas deficientes em fósforo apresentarão menor taxa de fosforilação, reduzindo sua produção de monoterpenos [33].

Na Tabela 2 é possível verificar que não houve diferença significativa no rendimento de óleo do *E. camaldulensis* em função das doses de nitrogênio (N) e potássio (K). Também não foram observados efeitos quadráticos significativos nos quais o rendimento de óleo essencial poderia reduzir ou aumentar a partir de uma determinada dose de nutrientes. Porém, ao observar o termo linear negativo na Tabela 2 e ao observar as Figuras 4 e 5, constata-se que aumentos nas doses de N e K estão associados à redução no rendimento de óleo essencial do *E. camaldulensis*.

No caso do N esse efeito negativo pode estar relacionado ao maior crescimento vegetativo proporcionado pelo nutriente que causaria diluição na concentração do óleo essencial. A importância do N na formação de biomassa foliar de outra espécie de eucalipto (*E. citriodora*) já foi comprovada em outros estudos [34]. Contudo, pesquisas mostram haver correlação positiva entre fornecimento de N e produção de óleo essencial.

Essa correlação positiva é explicada tanto pela maior produção de biomassa de parte aérea como pela maior quantidade de glândulas que secretam óleo nas folhas [35].

Estudos com outras espécies mostraram que a ausência de N foi a que mais reduziu a produção de óleo essencial em outra espécie vegetal (*Cymbopogon winterianus* Jowitt), juntamente com a omissão de K [36]. Mesmo sem haver diferença estatística significativa, a tendência contrária da curva para N e K observada no presente estudo indica a direção a ser tomada em estudos futuros que foquem, exclusivamente, na relação entre adubação nitrogenada e rendimento de óleo essencial do *E. camaldulensis*.

Interações entre nutrientes também não foram observadas, apesar da interação NP ter apresentado $Pr > t$ mais próximo aos 5% de significância, em comparação com o observado para as interações NK e PK (Tabela 2).

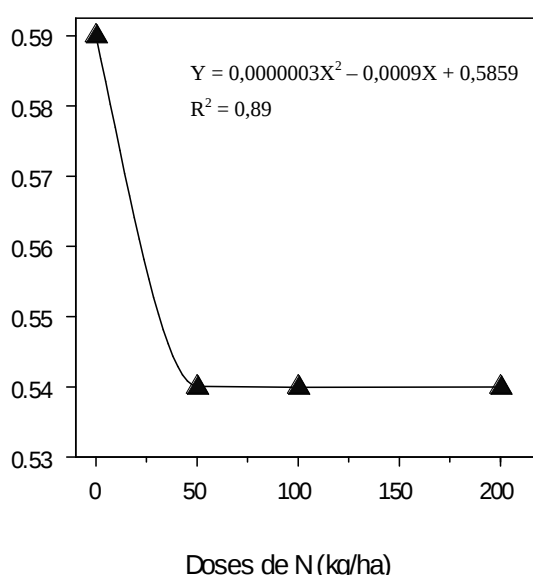


Figura 4. Rendimento de óleo essencial de eucalipto em função das doses de N.

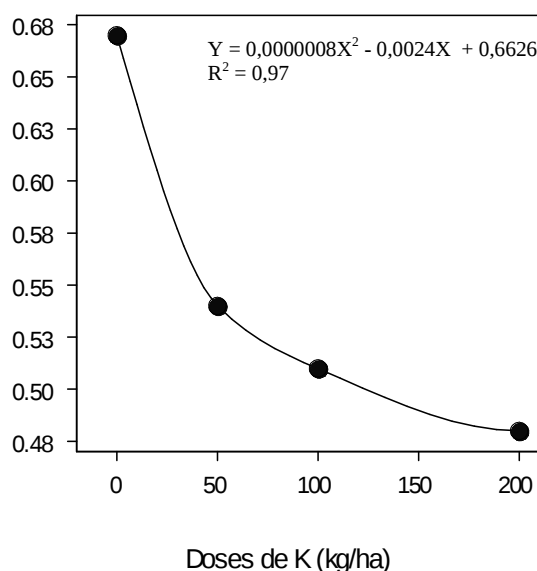


Figura 5. Rendimento de óleo essencial de eucalipto em função das doses de K.

No manejo usualmente praticado por pequenos produtores que utilizam o óleo essencial do eucalipto para obtenção de renda, são feitas colheitas anuais nas quais são retirados cerca de 70% das folhas das copas das árvores [37-38]. Dessa forma, o manejo da adubação com doses de nutrientes que resultem em elevada produção de biomassa de folhas é favorável para aumentar a produção de óleo essencial por hectare, principalmente se associado ao manejo que resulte em maior rendimento de extração.

Conclusão

O rendimento de óleo essencial em folhas frescas de *E. camaldulensis* aumenta com as doses de fósforo aplicadas na adubação de base. O rendimento de óleo essencial obtido para o *E. camaldulensis* nas condições de clima e solo do cerrado roraimense é similar ao obtido para a espécie em outras regiões produtoras do Brasil. A produção de biomassa foliar é fundamental na definição da produção de óleo por hectare do *E. camaldulensis* no cerrado de Roraima.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Roraima, à Embrapa Roraima, ao Grupo de Pesquisas da UFRR, Oleoquímicos, e ao professor Dr. Luiz Antonio Mendonça Alves da Costa por ceder os equipamentos necessários para a extração.

Referências e Notas

- [1] Santos, R. I. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. In: Simões, C. M. O.; Schenkel, E. P.; Gosmann, G.; Mello, J. C. P.; Mentz, L. A.; Petrovick, P. R. (Org.). *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 5ª ed. Porto Alegre: Editora UFRGS/ Florianópolis: Editora UFSC. 2004.
- [2] Simões, C. M. O.; Spitzer, V. Óleos voláteis. In: Simões, C. M. O.; Schenkel, E. P.; Gosmann, G.; Mello, J. C. P.; Mentz, L. A.; Petrovick, P. R. (Org.). *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 5ª ed. Porto Alegre: Editora UFRGS/ Florianópolis: Editora UFSC. 2004.
- [3] Bizzo, H. R.; Hovell, A. M. C.; Rezende, C. M. *Quim. Nova* **2009**, 32, 588.
- [4] Castellanos, F. J. S. Extracción de Aceites Esenciales: Experiencia Colombiana. In: II Segundo Congreso Internacional de Plantas Medicinales y Aromáticas, Bogotá, 2006.
- [5] Oliveira, J. T. S.; Hellmeister, J. C.; Simões, J. W.; Filho, M. T. *Scientia Forestalis* **1999**, 56, 113.
- [6] Franco, J.; Nakashima, T.; Franco, L.; Boller, C. *Rev. Bras. Farmacognosia* **2005**, 15, 191.
- [7] Bhatti, H. N.; Iqbal, Z.; Chatha, S. A. S.; Bukhari, I. H. *Inter. J. Agriculture and Biology* **2007**, 9, 136.
- [8] Quisen, R. C. Transformação genética de *Eucalyptus camaldulensis* via co-cultivo

- com *Agrobacterium tumefaciens*. [Tese.] Paraná: Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2007.
- [9] Cseke, L. J.; Kirakosyan, A.; Kaufman, P. B.; Warber, S. L.; Duke, J. A.; Briemann, H. L. *Natural Products from Plants*, 2nd ed. New York: CRC Press and Taylor & Francis Group, 2006.
- [10] Juergens, U. R.; Dethlefsen, U.; Steinkamp, G.; Gillissen, A.; Repges, R.; Vetter, H. *Resp. Medicine* **2003**, 97, 250.
- [11] Craveiro, A. A.; Queiroz, D. C. *Quim. Nova* **1993**, 16, 224.
- [12] Salgado, A. P. S. P.; Cardoso, M. G.; Souza, P. E.; Souza, J. A.; Abreu, C. M. P.; Pinto, J. E. B. P. *Ciência Agrotécnica* **2003**, 27, 249.
- [13] Fernandes, P. C.; Facanali, R.; Teixeira, J. P. F.; Furlani, P. R.; Marques, M. O. M. *Hort. Brasileira* **2004**, 22, 260.
- [14] Zanandrea, I.; Juliano, D. S.; Andréa, B. M.; Juliane, L.; Veridiana, K. B. *Rev. Bras. Farmacognosia* **2004**, 14, 14.
- [15] Vitti, A. M.; Brito, J. O. Óleo essencial de eucalipto. Documentos Florestais, 17, Piracicaba: ESALQ, ago. 2003.
- [16] Lima, H. R. P.; Kaplan, M. A. C.; Cruz, A. V. *Rev. Flor. Ambiente* **2003**, 10, 71.
- [17] Brant, R. S.; Pinto, J. E. B. P.; Bertolucci, S. K. V.; Albuquerque, C. J. B. *Hort. Brasileira* **2010**, 28, 111.
- [18] Moraes, T. C.; Vieira, M. C.; Heredia, Z. N. A.; Teixeira, I. R.; Ramos, M. B. M. *Rev. Bras. Plantas Medicinais* **2006**, 8, 120.
- [19] Alsafar, M. S.; Al-Hassan, Y. M. *Biotechnology* **2009**, 8, 380.
- [20] Júnior, A. C. O.; Faquin, V.; Pinto, J. E. B. P.; Sobrinho, R. R. L.; Bertolucci, S. K. V. *Hort. Brasileira* **2005**, 23, 735.
- [21] Araújo, W. F.; Andrade Júnior, A. S.; Medeiros, R. D.; Sampaio, R. A. *Rev. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental* **2001**, 5, 563.
- [22] Gonçalves, J. L. de M.; Raij, B. van; Gonçalves, J. C. Florestais. In: Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. (Ed.). *Boletim Técnico nº 100*. Campinas, IAC/FUNDAG. 2ª ed. rev. atual. 1997, cap. 23.
- [23] Colwell, J. D. *Computations for Studies of soil fertility and fertilizar requirements*. London: *Commonwealth Agricultural Bureaux*, 1979.
- [24] Andrade, D. F.; Noleto, A. Q. *Pesq. Agrop. Brasileira* **1986**, 21, 677.
- [25] Craveiro, A. A.; Matos, F. J.; Alencar, J. W. *J. Chem. Educ.* **1976**, 53, 652.
- [26] Venskutonis, P.R. *J. Essential Oil Research* **2003**, 15, 313.
- [27] Ehlert, P. A. D.; Blank, A. F.; Arrigoni-Blank, M. F.; Paula, J. W. A.; Campos, D. A.; Alviano, C. S. *Rev. Bras. Plantas Medicinais* **2006**, 8, 79.
- [28] Jantan, I.; Ling, Y. E.; Romli, S. *J. Essential Oil Research* **2003**, 15, 387.
- [29] SAS. *The SAS system*, Release 6.12. Cary, NC: SAS Institut, 1996.
- [30] Cantarella, H. Quaggio, J. A.; Bataglia, O. C.; Raij, B. V. *Proc. Inter. Soc. Citriculture* **1992**, 2, 607.
- [31] Lassak, E. V. *Chem. Aust.* **1988**, 55, 396.
- [32] Doran, J. C. Commercial sources, uses, formation, and biology. In: Boland, D. J.; Brophy, J. J.; House, A. P. N. *Eucalyptus leaf oils: use, chemistry, distillation and*

- marketing. Melbourne: *INKATA*, 1991.
- [33] Silva, P. H. M.; Brito, J. O.; F. G. S. Junior. *Sci. Agric.* **2006**, 63, 85.
- [34] Maffeis, A. R.; Silveira, R. L. V. A.; Brito, J. O. *Scientia Florestalis* **2000**, 57, 87.
- [35] Moura, L. F.; Sgarbi, F.; Maffeis, A. R.; Silveira, R. L. V. A.; Brito, J. O.; Kitajima, E. W. Resumo do VI Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- [36] Junqueira Jr., J. U. Macronutrientes, boro e zinco na citronela de Java: sintomas de deficiências e efeitos na produção e qualidade do óleo essencial. [Dissertação] Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1993.
- [37] Rodrigues, C. R.; Faquin, V.; Trevisan, D.; Pinto, J. E. B. P.; Bertolucci, S. K. V.; Rodrigues, T. M. *Hort. Brasileira* **2004**, 22, 573.
- [38] Pereira, A. R.; Andrade, D. C.; Leal, P. G. L.; Teixeira, N. C. S. *Rev. Floresta.* **1984**, 15, 8.