

Desenvolvimento e rendimento de óleo essencial de menta (*Mentha x piperita* L.) cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo

Evelize de Fátima Saraiva David^{1*}
Martha M. Mischan²
Carmen Silvia Fernandes Boaro³

¹UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Produção Vegetal/Horticultura
Rua Joaquim Francisco de Barros, 200, CEP 18600-380, Botucatu – SP

²Universidade Estadual Paulista – Instituto de Biociências – Departamento de Bioestatística

³Departamento de Botânica – Botucatu, São Paulo.

* Autora para correspondência
evelizedavid@fca.unesp.br

Submetido em 27/07/2006
Aceito para publicação em 01/03/2007

Resumo

Para avaliar o desenvolvimento e o rendimento de óleo essencial da *Mentha x piperita* L., plantas foram cultivadas em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon (1950) completa e na mesma solução com decréscimo e com acréscimo de 50% de fósforo. Foram avaliados número de folhas, área foliar, comprimento de parte aérea, massa seca dos diferentes órgãos e total, razão de área foliar, razão de massa foliar, taxa assimilatória líquida, taxa de crescimento relativo, área foliar específica e distribuição de massa seca para os diferentes órgãos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três níveis de fósforo, cinco colheitas e quatro repetições. Para a análise do óleo essencial o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x3. Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão, utilizando 5% de significância. Os resultados permitem concluir que a variação dos níveis de fósforo interferiram com o desenvolvimento da *Mentha x piperita* L. Apesar das plantas terem apresentado variação de comportamento para muitas das variáveis avaliadas, quando submetidas aos diferentes níveis de fósforo, adaptaram-se a essa condição, o que pode ser confirmado pela taxa de crescimento relativo, que reflete crescimento. No entanto, aquelas cultivadas com o menor nível de fósforo apresentaram maior rendimento de óleo essencial aos 60 DAT.

Unitermos: hortelã-pimenta; cultivo hidropônico; fósforo; produção de massa; análise de crescimento

Abstract

Development and essential oil yield of mint (*Mentha x piperita* L.) cultivated in nutritive solution under different levels of phosphorus. To evaluate the development and essential oil yield of *Mentha x piperita* L, plants were cultivated using complete Hoagland and Arnon (1950) nº 2 solution with a 50% increase or decrease in the phosphorus (P) concentration. The following were evaluated: Leaf number, leaf area, stem length, dry mass of several organs, total dry mass, leaf area ratio (LAR), leaf mass ratio (RMF), net assimilatory rate (NAR), relative

growth rate (RGR), specific leaf area (SLA), dry mass distribution, and essential oil yield. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme 3x5, with three levels and five crops, each with four replications. For essential oil, a randomized 3x3 factorial design was used. Data analysis consisted in application of ANOVA and regression analysis, using a 5% level of significance. The results led to the conclusion that the levels of phosphorus affect the development of *Mentha x piperita* L. Although plants showed variations in several of the parameters evaluated when submitted to different levels of phosphorus, they adjusted to these conditions, as demonstrated by the relative growth rate (RGR). However, the plants cultivated with lower levels of phosphorus resulted in a higher essential oil yield at 60 DAT.

Key words: Peppermint, cultivate hydroponics, phosphorus, mass production, growth analysis

Introdução

Mentha x piperita L., planta aromática, pertencente à família Lamiaceae, conhecida como hortelã pimenta, menta e hortelã-apimentada, é amplamente cultivada nos Estados Unidos, Itália, França e Hungria. Seu óleo essencial apresenta elevado conteúdo de mentol, substância responsável pelo seu sabor refrescante característico (Loewenfeld e Back, 1980) é também de grande importância industrial (Fahn, 1979; Lawrence, 1985) e vem sendo utilizado nas indústrias farmacêuticas, de bebidas alcoólicas, alimentícia e cosmética (Gupta, 1991; Munsu, 1992).

Os esforços na busca de substâncias ativas, que possam aumentar a produção de óleos essenciais são de grande importância, principalmente quando se considera a dependência da indústria farmacêutica nacional. A importação de matéria-prima nesta área chega a 80%, o que representa considerável evasão de divisas para o país (Ming, 1992).

O aumento de biossíntese de óleo essencial está correlacionado com a otimização da nutrição mineral (Mairapetyan, 1999). Entre os nutrientes minerais essenciais, o fósforo apresenta-se como componente integral de importantes compostos das células vegetais, incluindo açúcares-fosfatados, intermediários da respiração e fotossíntese e os fosfolípidos que compõem as membranas vegetais. É também componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas, como ATP, e no DNA e RNA (Malavolta, 1989; Marschner, 1995; Zeiger, 2004). Este elemento participa de várias etapas da rota biossintética para a formação do óleo a partir de mono e sesquiterpenos, ora como integrante de moléculas de enzimas ou de produtos de reações catalisadas por essas enzimas.

Alguns estudos demonstram a importância da nutrição mineral para o desenvolvimento do vegetal e rendimento de óleo. Munsu (1992) verificou que a aplicação de nitrogênio e fósforo melhorou a produtividade da menta japonesa, aumentando a produção de massa seca e o rendimento de óleo essencial. Piccaglia et al. (1993) avaliaram durante dois anos consecutivos, níveis de fósforo iguais a 0, 75, 150kg ha⁻¹ e de nitrogênio iguais a 0, 100, 200kg ha⁻¹ e verificaram que as duas épocas de plantio e os níveis de N e P fornecidos não influenciaram na composição do óleo essencial de menta. Zheljzkov e Margina (1996), observaram que o comprimento de parte aérea, o rendimento de óleo essencial e a ramificação aumentaram com o aumento dos níveis de fertilização com N, P e K. Por outro lado, não afetaram os conteúdos dos principais compostos químicos dos óleos essenciais na primeira colheita, enquanto na segunda colheita, houve um aumento do conteúdo de mentol. É provável que nesse estudo a época de colheita tenha influenciado os resultados. Jeliazkova et al. (1999) verificaram que a altura de plantas das três cultivares de menta, Tundza, Zephir e Clone nº 1, aumentou com o aumento dos níveis de N, P e K. Mairapetyan e Tadevosyan (1999), ao estudarem a otimização das relações N:P:K em cultivo hidropônico, concluíram que a menta requer maior suprimento de fósforo para o máximo acúmulo de óleo essencial. Singh e Singh (1968) demonstraram a importância do fósforo no metabolismo dos carboidratos, frutose, glicose, sacarose, de aminoácidos e de proteínas. Nesse trabalho, a deficiência do fósforo causou acúmulo dos açúcares redutores em todos os órgãos da planta, principalmente nas hastes. É provável que tenha ocorrido interferência no metabolismo secundário, ou seja, produção de óleo essencial, já que este depende do metabolismo primário.

A avaliação do crescimento vegetal pode ser feita por análise de crescimento que é uma técnica acessível e bastante precisa e serve para inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (Causton e Venus, 1981). Alguns trabalhos avaliaram a produtividade vegetal de Lamiaceas por meio da análise de crescimento. *Mentha x piperita* L. cultivada com redução de 50% de nitrogênio apresentou diminuição na produtividade (Leal, 2001). No entanto quando cultivada com redução de 50% e 75% de potássio na mesma solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon (1950) não mostrou tal diminuição. *Thymus vulgaris* L. cultivado com acréscimo de 50% de fósforo apresentou melhor taxa de crescimento relativo (Bueno, 2004). A produção de óleo essencial foi influenciada pela nutrição mineral em todos os estudos, apresentando maior rendimento quando as plantas de *Mentha x piperita* L. e de *Thymus vulgaris* L. foram cultivadas com os menores níveis de N, K e P.

O desenvolvimento da parte aérea dos vegetais, entre eles da *Mentha x piperita* L., que depende da nutrição mineral, é de fundamental importância para que se possa extrair o óleo, garantindo seu rendimento e composição. Assim, a avaliação do crescimento desta espécie submetida à variação de fósforo, pode fornecer subsídios para melhores condições de cultivo da espécie.

Com base no acima exposto o objetivo do presente estudo foi avaliar o desenvolvimento e o rendimento de óleo essencial de *Mentha x piperita* L. cultivada em solução nutritiva contendo diferentes níveis de fósforo.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do tipo “Paddy-Fan” do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu-SP, no período compreendido entre janeiro e maio, com temperatura e umidade relativa mantidas respectivamente, em torno de 27°C e 70%.

Foram selecionados ramos aéreos das plantas matrizes da Coleção de Plantas Medicinais do Departamento de Produção Vegetal/Horticultura da Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP-Botucatu para a preparação de estacas com 10cm de comprimento, tendo sido

mantidas os quatros primeiros pares de folhas. As estacas foram desinfetadas em solução de hipoclorito comercial diluída a 2% e acondicionadas em potes de 250mL cobertos com filme plástico de polietileno, contendo solução de nitrato de potássio, KNO_3 , 600mgL^{-1} , preparada com água destilada, conforme especificações de Soares e Sacramento (2001). As estacas permaneceram nessa solução durante 10 dias, período necessário para o enraizamento. Observações diárias definiram a necessidade de reposição da solução de nitrato de potássio.

Apenas as estacas enraizadas e sadias, foram transferidas para vasos plásticos com capacidade de 6L de solução nutritiva. Desta forma, foram cultivadas duas estacas por vaso, em cada tratamento e em cada época de colheita, num total de 120 estacas para a avaliação do desenvolvimento e 72 para a avaliação do óleo essencial. Esses vasos continham solução nutritiva com três diferentes níveis de fósforo, que caracterizaram os tratamentos, onde as plantas permaneceram até as datas de colheita. Da primeira até a quinta colheita, as plantas tinham respectivamente, 20, 40, 60, 80 e 100 dias após o transplante, realizado 10 dias após o enraizamento das estacas. Nos vasos, a fixação das plantas mantidas sem qualquer substrato se fez pelo colo, com espuma plástica preenchendo os orifícios feitos nas tampas.

Durante o ciclo da cultura, medidas fitossanitárias foram cuidadosamente observadas, com a finalidade de evitar que pragas e doenças interferissem nas observações.

O experimento foi controlado diariamente, quando eram feitas observações sobre o funcionamento do arejador, o volume da solução nutritiva e a existência de pragas, moléstias ou qualquer outra anormalidade.

Para a nutrição das plantas de menta empregou-se a solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon (1950), modificada pela variação da concentração de fósforo, que estabeleceu as diferenças entre tratamentos.

Assim, chamou-se de T1, o tratamento em que a solução nutritiva continha $46,5\text{mg L}^{-1}$ de fósforo, com aumento de 50% do nível de fósforo proposto para a solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon (1950), de T2 o tratamento em que solução nutritiva continha 31mg L^{-1} de fósforo, ou seja, o nível de fósforo proposto na solução

nutritiva completa nº2 de Hoagland e Arnon (1950). Por fim, no tratamento T3 a solução nutritiva continha 15,5mg L⁻¹ de fósforo, com diminuição de 50% do nível deste elemento proposto para a solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon (1950). Até os 20 dias após o transplante (DAT), as soluções que caracterizaram os três tratamentos foram diluídas em 50%, para evitar transtornos fisiológicos, para as plantas ainda jovens.

Todas as soluções, preparadas com água destilada, foram continuamente arejadas, utilizando-se um soprador rotatório e renovadas a cada duas semanas, até a primeira colheita, 20 dias após o transplante, a partir da qual se fez renovação semanal, com base no acompanhamento do pH. Sempre que necessário, o volume de solução do vaso foi completado com água destilada. O controle diário do pH da solução nutritiva foi feito com a utilização de um medidor de pH Digimed DMPH-3. Por ocasião da renovação da solução nutritiva, o pH aumentado foi ajustado para 5,5-6,0 com HCL 1M, ideal para o desenvolvimento da menta. A condutividade elétrica da solução foi controlada, com a utilização de um condutivímetro Digimed CD-21 e mantida entre 1,5-2,5mS por centímetro, de acordo com as especificações de Carmello (1992).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 3x5, ou seja, três tratamentos com diferentes níveis de fósforo e cinco épocas de colheita, de modo a cobrir todo o ciclo do vegetal.

Para a análise do óleo essencial o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x3, ou seja, três tratamentos com três épocas de colheitas.

Em cada repetição, as variáveis avaliadas resultaram da soma de duas plantas. Avaliações macroscópicas, com observações diárias de sinais visuais das plantas submetidas aos diferentes tratamentos, não revelaram sinais de toxicidade para o tratamento com maior nível de fósforo e nem de deficiência para aquele com menor nível.

Em cada vaso foram cultivadas duas plantas de menta, que após medição dos comprimentos de suas partes aéreas, determinação das áreas foliares e das massas frescas de parte aérea, foram utilizadas na de-

terminação das massas secas, variáveis que além de serem avaliadas durante o desenvolvimento, foram necessárias para a realização da análise de crescimento funcional das plantas, de acordo com Portes e Castro Júnior (1991), por meio da avaliação da razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), Taxa assimilatória líquida (TAL) e taxa de crescimento relativo (TCR).

Realizou-se sorteio prévio das plantas a serem colhidas, para evitar que fossem avaliadas plantas vizinhas em colheitas sucessivas, realizadas em intervalos de 20 dias.

Em todas as colheitas, as plantas de *Mentha x piperita* L., separadas em lâminas foliares, raízes, caules e pecíolos e, após a determinação da área das lâminas foliares (dm²), em área meter, modelo LI 3100, foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até atingirem massa constante, determinada em balança analítica.

A seguir foi calculada a razão de massa foliar que é um índice que expressa a fração de matéria seca não exportada das folhas para o resto da planta e pode refletir diferenças entre tratamentos. A maior ou menor exportação de material da folha pode ser uma característica genética a qual está sob a influência de variáveis ambientais (Benincasa, 2003). Esta variável foi calculada pela relação entre massa seca da folha (MSF) e massa seca total (MST).

$$RMF = \frac{MSF}{MST}$$

A distribuição de massa seca nos diferentes órgãos ou regiões de interesse é calculada em porcentagem de matéria seca de cada órgão em relação à massa seca total, ao longo do ciclo ou nas fases de maior interesse. Esta variável permite inferir a translocação orgânica (Benincasa, 2003) e também pode refletir diferenças entre tratamentos.

As variáveis área foliar e massa seca de lâminas foliares e total das plantas foram ajustadas em relação ao tempo, ou seja, idade das plantas para proceder à estimativa dos índices fisiológicos razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), taxa assimilatória

líquida (TAL) e taxa de crescimento relativo (TCR), pelo programa computacional ANACRES, de acordo com as especificações de Portes e Castro Junior (1991). Entre as opções de ajuste dos dados de massa seca e área foliar, em função de dias após emergência, apresentadas pelo programa, escolheu-se a exponencial quadrática. Esta escolha se baseou nas recomendações dos autores que referem que para espécie de ciclo curto, como a menta, essa equação tem sido adequada, pois é uma das que melhor ajusta-se aos conjuntos dos referidos dados, representando bem o crescimento dessa espécie. Dessa forma, as curvas de massa seca total e de lâminas foliares e área foliar, das plantas submetidas aos diferentes tratamentos, em função do tempo, foram ajustadas considerando-se a versão $\ln y = a + bt + ct^2$, para massa seca >0 , segundo as equações:

$$MS(y) = a.e^{(bt + ct^2)} \text{ e } AF(y_1) = a_1.e^{(b_1 t + c_1 t^2)}$$

Os coeficientes foram estimados através de análise de regressão, após transformação das equações para a forma logarítmica.

A razão de área foliar expressa a área foliar útil para a fotossíntese ($\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$) (Benincasa, 2003) e foi obtida a partir dos valores instantâneos de área foliar (AF), área responsável pela interceptação de energia luminosa e CO_2 , e massa seca total, resultado da fotossíntese, segundo a equação:

$$RAF = \frac{AF}{MST}$$

A área foliar específica reflete o inverso da espessura da folha ($\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$) (Benincasa, 2003) e foi obtida pela razão entre a área foliar (AF) e a massa seca de folhas (MSF).

$$AFE = \frac{AF}{MSF}$$

A taxa assimilatória líquida ($\text{g dm}^{-2} \text{dia}^{-1}$) que expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de massa seca produzida, em gramas, por decímetro quadrado de área foliar, por unidade de tempo (Portes e Castro Junior, 1991) foi obtida pela equação:

$$TAL = \frac{(b + 2ct).a.e^{(bt + ct^2)}}{a_1.e^{(b_1 + c_1 t^2)}}$$

A taxa de crescimento de uma planta ou de qualquer órgão da planta é uma função do tamanho inicial, isto é, o aumento em gramas, no caso de massa seca, está relacionado ao peso de massa seca no instante em que se inicia o período de observação (Portes e Castro Junior, 1991). Este índice ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$) foi calculado pela equação:

$$TCR = d \ln \frac{a.e^{(bt + ct^2)}}{dt}$$

Para a análise do óleo essencial foi utilizada a metodologia de hidrodestilação. Após a colheita e determinação da massa fresca, a parte aérea das plantas de *Mentha x piperita* L., constituída pelo caule mais pecíolo e lâminas foliares foi colocada para secar em estufa de aeração forçada, a uma temperatura constante de 40°C , por três dias, com posterior determinação de sua massa seca. A seguir, o material foi colocado em aparelho de destilação do tipo Clevenger para a hidrodestilação, no laboratório de óleos essenciais do Departamento de Produção Vegetal FCA - UNESP Campus Botucatu. Para tanto, 100 gramas de massa seca de parte aérea de *Mentha x piperita* L., foram colocadas em balão de fundo chato com capacidade de 2000mL, adicionando-se água até cobrir a amostra, que em seguida foi aquecido. Após 30 minutos iniciou-se a destilação, que foi completada aos 150 minutos. O rendimento de óleo essencial foi medido em mL 100g^{-1} de massa seca.

Os resultados de número de folhas, comprimento de parte aérea, área foliar, massa seca dos diversos órgãos e total, distribuição de massa seca para os diferentes órgãos, razão de massa foliar e rendimento de óleo essencial das plantas, foram submetidos às análises de variância para a verificação das interações entre níveis de fósforo e épocas de colheita. A análise de regressão, realizada para a verificação do efeito polinomial dos tratamentos, utilizando-se o nível de 5% de significância (SAS, 1996) permitiu a construção dos gráficos apresentados. Assim, as variáveis que apresentaram interação entre tratamento e época de colheita foram apresentadas em gráficos e aquelas que não apresentaram, em tabela.

Os índices que compõem a análise de crescimento foram apresentados em gráficos com variação no tempo, ou seja, épocas de colheitas.

Resultados e Discussão

O número de folhas das plantas cultivadas com o menor nível de fósforo apresentou-se em média, aos 60, 80 e 100 dias após transplante (DAT) menor (Figura 1A). Esses resultados são concordantes com os de Singh e Singh (1968) e Maia (1998), que cultivaram *Mentha arvensis* L. e Nowak e Stroka (2001) que cultivaram *Impatiens hawkeri* Bull., e verificaram redução no número e diâmetro de folhas das plantas cultivadas com deficiência ou omissão de fósforo. Deve ser ressaltado que no presente estudo embora no menor nível de fósforo, igual a $15,5\text{mg L}^{-1}$ as plantas tenham mostrado menor número de folhas, não foram observados sinais visuais característicos da deficiência desse nutriente, como coloração verde escura ou púrpura, devido ao aumento da produção de antocianina, malformação das folhas, folhas com pequenas manchas necróticas, morte das folhas mais velhas e retardamento da maturação (Zeiger, 2004; Epstein e Bloom, 2006).

O aumento de fósforo que, no presente estudo, aumentou em média o número de folhas, é parcialmente discordante dos resultados observados por Lasló (1979) que não verificou aumento de produção de folhas quando foi aplicado fósforo em concentrações crescentes em *Anethum graveolens* L. No entanto, espécies e doses de fósforo diferentes foram avaliadas. O aumento do número de folhas na *Mentha x piperita* L. cultivada em solução nutritiva com aumento de fósforo era esperado, pois, trata-se de um elemento essencial componente de açúcares fosfatados, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfolípidios, ácido fítico, apresentando ação central em reações que envolvem ATP (Zeiger, 2004). Portanto a sua variação para mais ou para menos na solução nutritiva alterou o desenvolvimento da espécie estudada.

A área foliar aos 40, 60 e 80 DAT foi maior nas plantas cultivadas com o maior nível de fósforo igual a $46,5\text{mg L}^{-1}$ (Figura 1B). Embora não tenham sido identificadas diferenças de massa seca de lâminas foliares das plantas cultivadas com diferentes níveis de fósforo (Tabela 1), houve tendência de decréscimo dessa massa, do número de folhas e da área foliar das plantas cultivadas com $46,5\text{mg L}^{-1}$ desse nutriente aos 100 DAT.

Esse comportamento sugere adaptação das plantas aos diferentes níveis do elemento utilizado dos 80 aos 100 DAT. No entanto, deve ser considerado que aos 100 DAT as plantas já estavam em senescência.

Apesar do maior nível de fósforo ter resultado em plantas com maior número de folhas e maior área foliar, a massa seca total (Figura 1C) não demonstrou efeito desse tratamento. Nessa massa, são consideradas a massa seca de lâminas foliares e a massa seca de caule e pecíolos, que não diferiram entre os tratamentos (Tabela 1) e a massa seca de raízes (Figura 1E), que de modo geral, apresentou-se menor nas plantas submetidas a $46,5\text{mg L}^{-1}$. Essas plantas investiram em número de folhas e em área foliar, não sustentaram tal investimento na partição de assimilados, para as lâminas foliares, que não resultaram em maior massa seca. Dessa forma, a menor massa seca total, aos 80 e 100 DAT nas plantas cultivadas com $46,5\text{mg L}^{-1}$ ocorreu devido ao efeito depressivo desse nível de fósforo nas raízes, que revelaram menor massa seca a partir dos 60 DAT. Assim, esse nível foi excessivo para o crescimento das raízes.

Deve ser registrado que mesmo o nível de $15,5\text{mg L}^{-1}$ de fósforo foi suficiente para o crescimento desses órgãos. Esses resultados discordam em parte dos observados por Nowak e Stroka (2001) e por Nowak (2001), que ao trabalharem com deficiência de fósforo, verificaram diminuição no número e desenvolvimento de raízes. Discordam em parte também dos encontrados por Munsli (1992), que ao estudar a resposta da *Mentha arvensis* L. à adubação com N e P, verificou que a maior produção de massa seca foi obtida com os níveis mais elevados desses nutrientes. O autor relaciona a elevada produção de massa seca em níveis mais elevados de fósforo à maior eficiência dos processos metabólicos e fisiológicos, o que resultou em crescimento exuberante da cultura. No entanto, nesse estudo também foi avaliado o nitrogênio, que aumenta a duração do ciclo vegetativo, com aumento de produção de massa. Dessa forma, esses resultados não são totalmente comparáveis, pois além da influência do nitrogênio, o experimento de Munsli (1992) foi realizado com espécie diferente e em solo e, portanto, com doses e disponibilidade diferentes de fósforo. O presente estudo apresenta resultados que também discordam dos encontrados por Praszna e

Bernáth (1993) que ao estudarem *Mentha x piperita* L., registraram o dobro de aumento de massa em plantas nutridas com 0,477g/vaso de P_2O_5 e verificaram diminuição de 74,8% de massa nas plantas com omissão desse nutriente. Uma vez mais devem ser consideradas as diferentes condições ambientais em que os estudos foram conduzidos.

O comprimento de parte aérea (Figura 1D) apresentou-se maior nas plantas submetidas ao tratamento com nível de fósforo igual a 31,0 mg L⁻¹, nível preconizado pela solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon

(1950), aos 80 e 100 DAT, tendo sido menor aos 40 e 60 DAT, em relação aos demais tratamentos. Apesar dessas plantas terem apresentado menor comprimento de parte aérea no início do ciclo de desenvolvimento mantiveram um crescimento constante, ainda crescente no final da avaliação. Esses resultados concordam com os de Santos et al. (2002), que cultivaram *Ocimum basilicum* L., em soluções nutritivas modificadas nas dosagens de seus nutrientes para valores inferiores e superiores àqueles estabelecidos na solução completa e observaram as maiores alturas nas plantas cultivadas em solução nutritiva completa.

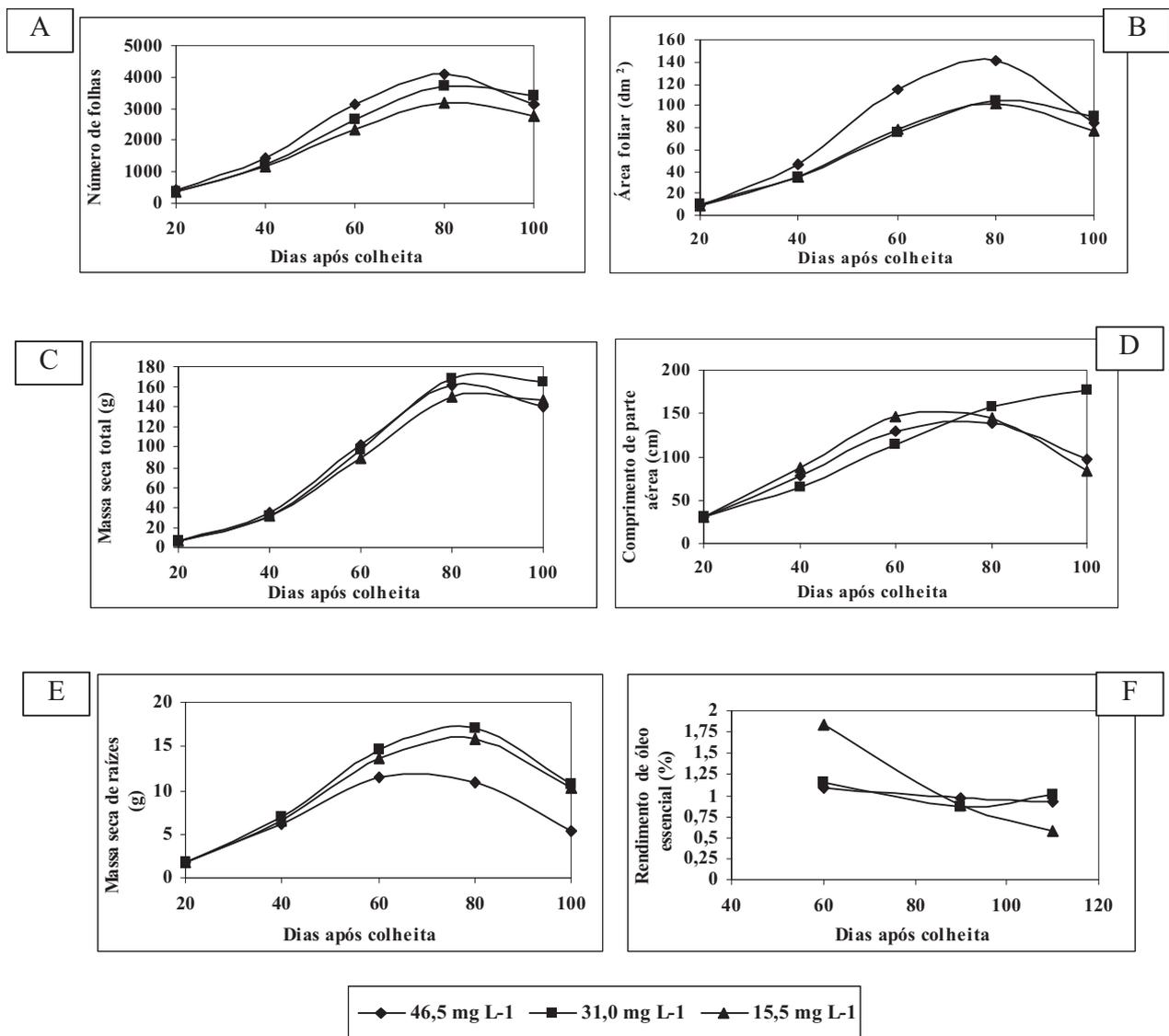


FIGURA 1: (A) Número de folhas, (B) Área foliar, (C) Massa seca total, (D) Comprimento de parte aérea, (E) Massa seca de raízes, (F) Rendimento de óleo essencial de *Mentha x piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo iguais a 46, 5, 31,0 e 15,5 mg L⁻¹, nas várias colheitas realizadas aos 20, 40, 60, 80 e 100 DAT. Valores médios ajustados pela equação exponencial quadrática.

Embora a tendência de maior massa seca de lâminas foliares (Tabela 1), maior número de folhas e maior área foliar (Figura 1A e 1B) nas plantas cultivadas com $46,5 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo, pudesse sugerir maior rendimento de óleo essencial (Figura 1F), não foi este o comportamento verificado. Assim, o aumento do nível de fósforo não atuou para melhorar a produção de óleo essencial no presente estudo.

Os óleos voláteis são substâncias encontradas em várias partes das plantas (Simões e Spitzer, 1999), formados por terpenóides (mono e sesquiterpenos) e/ou lignóides (Alil-e propenilfenóis e cumarinas) (Gottlieb, 1985). Os terpenos, ou terpenóides são produzidos no metabolismo secundário, sintetizados a partir de substâncias do metabolismo primário. A produção de metabólitos secundários está relacionada à defesa da planta (Taiz, 2004).

A influência da nutrição mineral na produção de metabólitos secundários apresenta resultados contraditórios na literatura. Ming (1992), trabalhando com *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br., observou que quanto maior a dose de adubo orgânico, maior foi a biomassa produzida e menor a concentração de óleos essenciais. Piccaglia et al. (1993) não verificaram efeito marcante da adubação com fósforo no rendimento de óleo essencial. Em *Achillea millefolium* L., houve aumento da biomassa e do rendimento de óleo essencial com o aumento da adubação orgânica (Côrrea Júnior, 1994). Praszna e Bernáth (1993) verificaram que plantas de *Mentha x piperita* L. com omissão de fósforo apresentaram diminuição de óleo essencial.

A avaliação dos índices de análise de crescimento revelou tendência de redução da razão da massa foliar durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (Figura 2A), comportamento esperado uma vez que à medida que a planta desenvolve, menor é a fração de fotoassimilados retidos na folha, sendo direcionados para os demais órgãos para garantir seu crescimento, conseqüentemente havendo decréscimo da RMF (Radford, 1967; Benincasa, 2003). Esse comportamento praticamente não foi influenciado pelos níveis de fósforo utilizados na solução nutritiva.

Enquanto a distribuição de massa seca para lâminas foliares apresentou tendência de decréscimo ao longo do ciclo (Figura 2B), a de caule e pecíolos aumentou (Figura 2C).

Nas plantas cultivadas com $15,5 \text{ mg L}^{-1}$ a distribuição de massa seca para raízes aumentou até 40 DAT, diminuindo nas colheitas seguintes para assumir valores bem próximos aos verificados para as plantas cultivadas com 31 mg L^{-1} (Figura 2 D). É possível que a redução do nível de fósforo à metade, tenha estimulado o desenvolvimento das raízes nessa fase para suprir suas necessidades minerais. No entanto, a partir dos 60 DAT essas plantas apresentaram o mesmo comportamento das nutridas com 31 mg L^{-1} indicativo de sua adaptação ao menor nível de fósforo. Por outro lado, as plantas cultivadas com $46,5 \text{ mg L}^{-1}$ a partir dos 60 DAT apresentaram menor distribuição de massa seca para raízes, o que foi confirmado pela menor produção de massa desses órgãos (Figura 1E). Nessas plantas, o nível de fósforo igual a $46,5 \text{ mg L}^{-1}$ foi excessivo para o desenvolvimento das raízes.

TABELA 1: Massas secas de lâminas foliares (MSLF) e de caules e pecíolos (MSCP), de *Mentha X piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo iguais a 46, 5, 31,0 e $15,5 \text{ mg L}^{-1}$, nas várias colheitas realizadas aos 20, 40, 60, 80 e 100 DAT. Média de três repetições.

Variáveis	Níveis de Fósforo (mg L^{-1})														
	46,5					31,0					15,5				
	Colheita (DAP)														
	1 ^a (20)	2 ^a (40)	3 ^a (60)	4 ^a (80)	5 ^a (100)	1 ^a (20)	2 ^a (40)	3 ^a (60)	4 ^a (80)	5 ^a (100)	1 ^a (20)	2 ^a (40)	3 ^a (60)	4 ^a (80)	5 ^a (100)
MSLF (g)	3,06	17,00	30,20	37,62	37,05	2,50	15,95	22,15	36,55	39,05	2,66	13,40	26,67	33,12	37,5
MSCP (g)	1,40	20,77	51,35	89,12	112,9	1,13	21,47	45,90	98,55	130,5	1,21	16,90	43,82	78,60	114,27

As médias das massas secas de lâminas foliares e de caules e pecíolos, não diferiram ao nível de 5% de significância.

Dessa forma, o fósforo interferiu de modo discreto na partição de assimilados para as raízes (Figura 2D) quando foi subtraído ou acrescido na solução nutritiva. A RMF (Figura 2A) também demonstrou essa discreta variação, mas, no entanto, sua avaliação não indica que as raízes foram os órgãos responsáveis por tal comportamento.

A RAF diminuiu com o tempo em todos os tratamentos, com queda menos acentuada nas plantas cultivadas com $46,5\text{mg L}^{-1}$ (Figura 2E), resultados concordantes com as observações de Leal (2001), Valmorbidia (2003) e Boaro et al (1996), que registraram RAF elevada no início do ciclo vegetativo, período em que ocorre desenvolvimento de folhas para maior captação de luz, decrescendo devido a interferência de folhas superiores sobre as inferiores, caracterizando auto-sombreamento (Benincasa, 2003).

Deve ser ressaltado que os estudos de Leal (2001) e Valmorbidia (2003) foram realizados com *Mentha x piperita* L., mas avaliaram outros nutrientes e o de Boaro et al (1996), avaliaram feijoeiros. No entanto observa-se que o comportamento da RAF é o mesmo, ou seja, diminui com o ciclo de desenvolvimento, independente da espécie ou do nutriente avaliado.

A queda menos acentuada apresentada pelas plantas cultivadas com $46,5\text{mg L}^{-1}$ de fósforo sugere menor auto-sombreamento ao longo do crescimento (Figura 2E). Esse comportamento encontra apoio no número de folhas (Figura 1A) e na área foliar (Figura 1B), maiores nessas plantas, que não resultaram em maior massa seca de lâminas foliares (Tabela 1). Essas plantas apresentaram, portanto número maior de folhas pequenas, com aumento de área foliar, que no estudo, resultou em auto-sombreamento mais lento.

As plantas submetidas a $31,0\text{ mg L}^{-1}$ de fósforo mostraram os maiores valores de AFE, que após 40 DAT apresentaram discreta diminuição (Figura 2, F). No entanto, as plantas nutridas com o menor nível desse nutriente apresentaram a AFE menor e mais constante durante o ciclo. De maneira geral, os resultados obtidos concordam com a literatura que registra que no início do desenvolvimento, os valores da AFE podem ser maiores, revelando folhas pouco espessas, com pouca massa

seca e pequena área foliar (Benincasa, 2003). Os resultados concordam também com Pereira e Machado (1987), Ascênio e Fargas (1973) e Boaro et al. (1996) ao registrarem que em algumas culturas os valores da AFE podem permanecer constantes ou variar pouco durante o período de crescimento vegetativo.

A AFE, inverso da espessura da folha, apresentado pelas plantas cultivadas com o menor nível de fósforo, revela folhas mais espessas. Esse comportamento também pode resultar em diferenças no crescimento da espécie. Dessa forma, a diminuição de fósforo influenciou a espessura da folha.

De modo geral, a TAL (Figura 2G) diminuiu durante o ciclo de desenvolvimento da cultura em todos os tratamentos. Esses resultados concordam com os observados por Watson (1965), Milthorpe e Moorby (1974), Payne et al. (1991), Leal (2001) e Valmorbidia (2003). Milthorpe e Moorby (1974) comentam que a diminuição da taxa assimilatória líquida com a idade das plantas deve-se ao sombreamento de folhas inferiores. Segundo Watson (1965), esse índice expressa o balanço entre a fotossíntese e a respiração, sendo, portanto, mais influenciado pelas condições climáticas do que pelo potencial genético do vegetal. Tanto a AFE como a RAF (Watson, 1965) estão relacionadas a TAL, pois os três índices são influenciados pelo auto-sombreamento.

No presente estudo, as plantas que apresentaram TAL com declínio mais rápido foram as nutridas com $46,5\text{mg L}^{-1}$. Esse comportamento indica maior eficiência fotossintética. Dessa forma, esse índice indica que essas plantas melhoraram sua eficiência fotossintética, uma vez que a RAF reflete menor auto-sombreamento de suas folhas (Figura 2E). Por outro lado, as plantas cultivadas com $15,5\text{mg L}^{-1}$ de fósforo, que apresentaram eficiência fotossintética semelhante àquelas cultivadas com 31 mg L^{-1} adaptaram-se ao nível mais baixo de fósforo, provavelmente com aumento de sua espessura. (Figura 2F).

As plantas cultivadas com os diferentes níveis de fósforo apresentaram TCR semelhantes (Figura 2H), índice que realmente demonstra a adaptação da espécie aos diferentes níveis de fósforo. Como este índice é resultado da TAL e RAF, as plantas cultivadas com $46,5\text{mg}$

L^{-1} que apresentaram menor auto-sombreamento e maior área foliar útil para a fotossíntese, (RAF) foram mais eficientes fotossinteticamente, ou seja apresentaram TAL com queda mais acentuada equilibrando dessa forma a TCR.

Já as plantas cultivadas com $15,5 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo talvez tenham sido tão eficientes fotossinteticamente quanto as nutridas com 31 mg L^{-1} de fósforo devido a

maior espessura de suas folhas em níveis razoáveis (Figura 2F), o que levou a apresentar a mesma taxa de crescimento relativo. Benincasa (2003) também registrou que nem sempre se verificam diferenças tão evidentes entre tratamentos e, em alguns casos, não se consegue mesmo detectar causas de diferenças de produção pela análise de crescimento, o que parece ter ocorrido com a TCR no presente estudo.

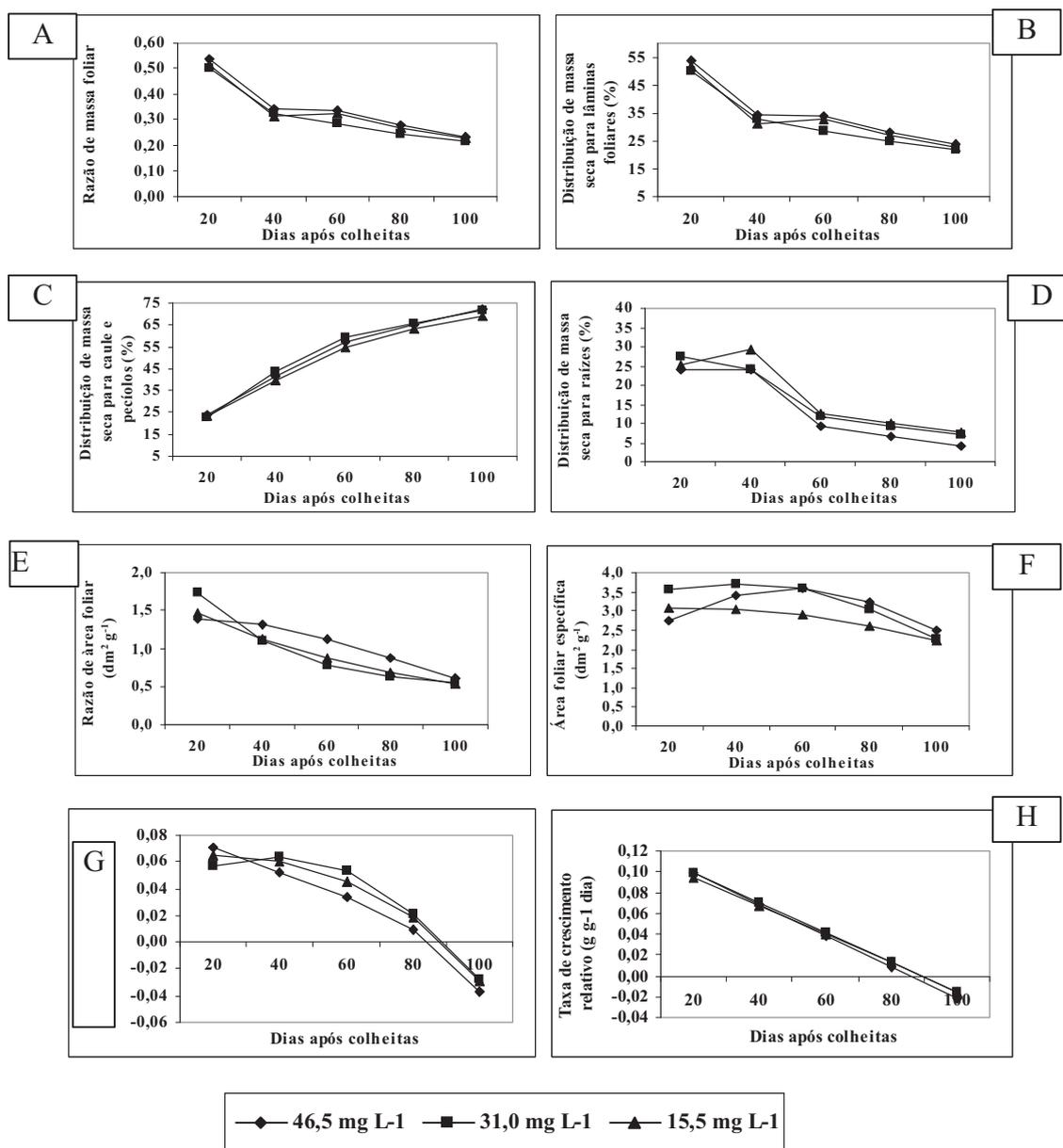


FIGURA 2: (A) Razão de massa foliar, (B) Distribuição de massa seca para lâminas foliares, (C) Distribuição de massa seca para caule e pecíolos, (D) Distribuição de massa seca para raízes, (E) Razão de área foliar, (F) Área foliar específica, (G) Taxa assimilatória líquida, (H) Taxa de crescimento relativo de *Mentha x piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo iguais a 46, 5, 31,0 e 15,5 mg L⁻¹, nas várias colheitas realizadas aos 20, 40, 60, 80 e 100 DAT. Valores médios ajustados pela equação exponencial quadrática.

Os maiores valores para TCR verificados aos 20 DAT com decréscimo nas próximas colheitas, nas plantas submetidas aos diferentes níveis de fósforo, concordam com os resultados verificados por Stefanini (1997), Leal (2001) e Valmorbidia (2003).

Segundo Milthorpe e Moorby (1974), durante a ontogenia de uma cultura há um primeiro período com taxas de crescimento aceleradas, seguido de outro em que as taxas são mais ou menos constantes e de um terceiro, com declínio desse índice. Neste último período, o crescimento se torna negativo.

Os resultados permitem concluir que a variação dos níveis de fósforo interferiram com o desenvolvimento da *Mentha x piperita* L. Apesar das plantas terem apresentado variação de comportamento para muitas das variáveis avaliadas, quando submetidas aos diferentes níveis de fósforo, adaptaram-se a essa condição, o que pode ser confirmado pela TCR, que reflete crescimento. No entanto, aquelas cultivadas com o menor nível de fósforo apresentaram maior rendimento de óleo essencial aos 60 DAT.

Referências

- Ascênio, J.; Fargas, J. E. 1973. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. Var. "Turrialba-4") cultivado en solución nutritiva. **Turrialba**, **23**: 420-428.
- Benincasa, M. M. P. 2003. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. Fundação Nacional de Ensino e Pesquisa, Jaboticabal, Brasil, 41pp.
- Boaro, C. S. F.; Rodrigues, J. D.; Pedras, J. F.; Rodrigues, S. D.; Delachiave, M. E. A.; Ono, E. O. 1996. Avaliação do crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. CV. carioca) sob diferentes níveis de magnésio. **Biotemas**, **9**: 15-28.
- Bueno, M. A. S. 2004. **Níveis de fósforo no desenvolvimento e produção de óleo essencial de *Thymus vulgaris* L. cultivado em solução nutritiva**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 85pp.
- Carmello, Q. A. C. 1992 Hidroponia. **Anais da 20ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, Piracicaba, Brasil, p.355-368.
- Causton, D. R.; Venus, J. C. 1981. **The biometry of plant growth**. Edward Arnold, London, UK, 307pp.
- Corrêa Júnior, C., Ming, L., Scheffer, M. C. 1994. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2ª ed. Funep, Jaboticabal, Brasil, 162pp.
- Epstein, E. Bloom, A. 2006. **Metabolismo Mineral**. In: **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectiva**. Editora Planta, Londrina, Brasil, p.209-244.
- Fahn, A. 1979. **Secretory Tissues in Plants**. Academic Press, New York, USA, 302pp.
- Gottlieb, O. R. 1985. Evolução e função de óleos essenciais. **Anais do 1º Simpósio de Óleos Essenciais**, São Paulo, Brasil, p.175-191.
- Gupta, R. 1991. Agrotechnology of medicinal plants. In: Wijessekera, R. O. B. (ed.). **The Medicinal Plant Industry**. CRC Press, Boca Raton, Flórida, USA, p.43-57.
- Hoagland, D. R.; Arnon, D. I. 1950. **The water: culture method for growing plants without soil**. California Agricultural Experiment Station, Berkeley, USA, 32pp.
- Jeliazkova, E. A.; Zheljaskov, V. D.; Craker, L. E. 1999. NPK fertilizer and yields of peppermint, *Mentha x Piperita*. **Acta Horticulture**, **502**: 231-236.
- Lawrence, B. M. 1985. A review of the world production of essential oils. **Perfume and Flavorist**, **10** (5): 1-16.
- Lasló, H. 1979. Effect of nutrition supply on yield of dill (*Anethum graveolens* L.) and its essential oil content. **Planta Medica**, **26** (3): 295-29.
- Leal, F. P. 2001. **Desenvolvimento, produção e composição de óleo essencial da *Mentha x piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 155pp.
- Loewenfeld, C.; Back, F. 1980. **Guia de hierbas y especias**. Ediciones Omega, SA., Barcelona, Espanha, 364pp.
- Maia, N. B. 1998. Efeito da nutrição mineral na qualidade do óleo essencial da menta (*Mentha arvensis* L.) cultivada em solução nutritiva. In: Ming, L. C. (ed.). **Plantas medicinais, aromáticas e condimentares, avanços na pesquisa agrônômica**. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil, p.81-95.
- Mairapetyan, S. K. 1999. Aromatic plant culture in open - air hydroponics. **Acta Horticulture**, **502**: 33-36.
- Mairapetyan, S. K.; Tadevosyan, A. H. 1999. Otimization of the N:P:K ratio in the nutrient medium of some soilless aromatic and medicinal plants. **Acta Horticulture**, **502**: 29-32.
- Malavolta, E. 1989. **Elementos de nutrição Mineral de Plantas**. Agrônômica Ceres, São Paulo, Brasil, 251pp.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. de. 1989. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 201 pp.
- Marschner, H. 1995. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, London, UK, 889pp.
- Milthorpe, F. L.; Moorby, J. 1974. **An introduction to crop physiology**. Cambridge University Press, Londres, UK, 201pp.
- Ming, L. C. 1992. **Influência de diferentes níveis de adubação orgânica na produção de biomassa e teor de óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. - Verbanaceae**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 206pp.
- Munsi, P. S. 1992. Nitrogen and phosphorus nutrition response in Japanese mint cultivation. **Acta Horticulture**, **306**: 436-443.
- Nowak, J. 2001. The effect of phosphorus nutrition on growth flowering and leaf nutrient concentrations of osteospermum. **Acta Horticulture**, **548**: 557-5591.
- Nowak, J.; Stroka, S. 2001. The effect of phosphorus nutrition on

- growth flowering and chlorophyll fluorescence of *New guinea impatiens* "pago pago". **Acta Horticulture**, **548**: 561-565.
- Payne, W. A.; Lascano, R. J.; Hossner, L. R.; Wendt, C. W.; Onken, A. B. 1991. Pearl millet growth as affected by phosphorus and water. **Agronomy Journal**, **3**: 942-948.
- Pereira, A. R.; Machado, E. C. 1987. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo**, **114**: 1-33.
- Piccaglia, R.; Dellacecca, V.; Marotti, M.; Giovanelli, E. 1993. Agronomic factors affecting the yields and the essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita* L.). **Acta Horticulture**, **344**: 29-40.
- Portes, T. A.; Castro Junior, L. G. 1991. Análise de crescimento de plantas: Um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira Fisiologia**, **3**: 53-60.
- Prasna, L.; Bernath, J. 1993. Correlations between the limited level of nutrition and essential oil production of peppermint. **Acta Horticulture**, **344**: 278-289.
- Radford, P. S. 1967. Growth analysis formula; their use and abuse. **Crop Science**, **7**: 171-175.
- Santos, J. E.; Luz, J. M. Q.; Haber, L. L.; Furlani, P. R.; Batista, A. M.; Martins, S. T.; Silva, A. P. P. 2002. Diferentes concentrações de solução nutritiva para a cultura de alfavaca (*Ocimum basilicum* L.) em sistema de cultivo hidropônico. Horticultura Brasileira. **Anais do 42º Congresso Brasileiro de Olericultura**, Uberlândia, Brasil, Suplemento 2, CD-Rom.
- SAS. 1996. **SAS - The Statistical Analysis System**. 12th ed. SAS Institute Inc., USA.
- Simões, C. M. O.; Spitzer, V. 2000. Óleos voláteis. In: Simões, C. M. O.; Schenkel, E. P.; Gosmann, G.; Palazzo de Mello, J. C.; Mentz, L. A. & Petrovick, P. R. (eds). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 2^a ed. Editoras da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal de Santa Catarina, Porto Alegre e Florianópolis, Brasil, p.394-412.
- Singh, V. P.; Singh, D. V. 1968. Effect of phosphorus deficiency on carbohydrate metabolism of *Mentha arvensis* L. **Physiology Plantarum**, **21**: 1341-1347.
- Soares, A.; Sacramento, L. V. S. 2001. Desempenho de *Mentha* spp quanto a formação de raízes adventícias em função do substrato. **V Jornada Paulista de Plantas Mediciniais, Faculdade de Ciências Agrônomicas**, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil, p.107.
- Stefanini, M. B. 1997. **Ação de fotorreguladores no crescimento, produção de biomassa e teor de óleo essencial em *Lippia alba* (Mill.) N.E.R. - Verbenaceae, em diferentes épocas do ano**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 123pp.
- Taiz, L. 2004. **Fisiologia Vegetal**. 3^a ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil, 719pp.
- Valmorbida, J. 2003. **Níveis de potássio em solução nutritiva, desenvolvimento de plantas e a produção de óleo essencial de *Mentha x piperita* L.**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 128pp.
- Watson, D. J. 1965. The physiological basis of variation in yield. **Advances Agronomy**, **5**: 343-348.
- Zeiger, E. 2004. Nutrição mineral. In: Taiz, L. & Zeiger, E. (eds). **Fisiologia Vegetal**. 3^a ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil, p.95-105.
- Zheljzakov, V.; Margina, A. 1996. Effect of increasing doses of fertilizer application on quantitative and qualitative characters of mint. **Acta Horticulture**, **426**: 579-592.