

**CALAGEM E ADUBAÇÕES ORGÂNICA E
MINERAL NO CRESCIMENTO DE MUDAS E NO
TEOR E RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL
DA ARNICA [*Lychnophora pinaster* (MART)]**

ANTÔNIO CLARET DE OLIVEIRA JÚNIOR

2004

57521

049267

DESCARTADO

m. k. k.
ASSINATURA

Data 30/08/17

BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA
UFLA

ANTÔNIO CLARET DE OLIVEIRA JÚNIOR

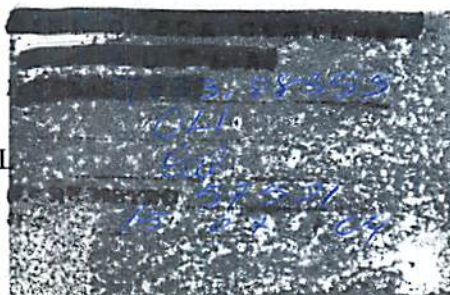
**CALAGEM E ADUBAÇÕES ORGÂNICA E MINERAL NO
CRESCIMENTO DE MUDAS E NO TEOR E RENDIMENTO DE ÓLEO
ESSENCIAL DA ARNICA [*Lychnophora pinaster* (MART)]**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Valdemar Faquin

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2004



07.21

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Oliveira Júnior, Antônio Claret de

Calagem e adubação orgânica e mineral no crescimento de mudas e no teor e rendimento de óleo essencial da arnica [*Lychnophora pinaster* (Mart)]. / Antônio Claret de Oliveira Júnior. -- Lavras : UFLA, 2004.
55 p. : il.

Orientador: Valdemar Faquin.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Arnica. 2. *Lychnophora pinaster* (Mart) 3. Calagem. 4. Adubação. 5. Óleo essencial. 6. Planta medicinal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-583.55041335
-633.88355

ANTÔNIO CLARET DE OLIVEIRA JÚNIOR

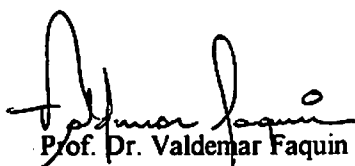
**CALAGEM E ADUBAÇÕES ORGÂNICA E MINERAL NO
CRESCIMENTO DE MUDAS E NO TEOR E RENDIMENTO DE ÓLEO
ESSENCIAL DA ARNICA [*Lychnophora pinaster* (MART)]**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
área de concentração em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 18 de fevereiro de 2004

Prof. Ph.D. José Eduardo Brasil Pereira Pinto DAG/UFLA

Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes NCA/UFMG



Prof. Dr. Valdemar Faquin
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

“Cada um que passa em nossa vida... leva um pouco de nós mesmos, deixa um pouco de si mesmo, há os que deixam muito, há os que não deixam nada. Há os que levam muito, há os que não levam nada. Essa é a maior responsabilidade de nossas vidas e, prova evidente de que duas almas não se encontram por acaso”

(Antonie de Saint-Exupery)

À Vanessa Teodoro pelo amor e ensinamentos. Às minhas irmãs, Célia, Marta e Gizélia pelo apoio. Aos meus sobrinhos pelo sentido especial que dão à minha vida.

DEDICO

Aos meus pais Antônio Claret e Maria Célia pelos exemplos de vida, esforço e apoio incondicional. Sem suas presenças esta etapa jamais estaria concluída.

OFERECO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela pelo dom da Vida e presença constante em minha jornada.

Ao Departamento de Ciência do Solo da UFLA e à CAPES pela oportunidade de aprimoramento.

Ao prof. Valdemar Faquin não só pelos ensinamentos e oportunidade de trabalho, mas, sobretudo, pela sincera amizade.

Ao prof. Vicente Gualberto, pelos ensinamentos de vida e primeiro voto de confiança.

Aos professores José Eduardo Brasil Pereira Pinto e Luiz Arnaldo Fernandes pela amizade, co-orientação e confiança. À profa. Suzan Kelly Vilela Bertolucci pelo suporte durante a condução deste trabalho.

Aos amigos, Liziane de Figueiredo Brito, Daniele Pereira de Castro, Silvana da Silva, Giltembergue Macedo Tavares, Leyser Rodrigues e Renato Ferreira de Souza pelos bons momentos vivenciados ao longo da nossa caminhada, essenciais ao meu aperfeiçoamento enquanto pessoa. Tenham certeza da minha verdadeira amizade.

Ao irmão e amigo Watson Rogério de Azevedo que, apesar da distância física, também caminha comigo, tomando esta caminhada mais serena e alegre.

Aos amigos Carolina Lisboa, Carlos Rodrigues, Rodrigo Reis, Alex Andrade, Orlando Caires, Otacilio Rangel e demais contemporâneos de curso pelo companheirismo, sugestões e suporte na condução deste trabalho.

Aos funcionários Adriana Soares, José Roberto Fernandes, Roberto Lelis e Waldíria Machado, pela ajuda e bons momentos compartilhados.

A Ana Valéria Souza, por toda demonstração de entusiasmo e auxílio.

A todo o corpo docente, discente e demais funcionários do Departamento de Ciência do Solo da UFLA pela boa convivência.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Pesquisas com plantas medicinais	3
2.1.1 Pesquisas com arnica	4
2.2 A planta de arnica	5
2.3 Princípios ativos e meio-ambiente.....	8
2.4 Óleos essenciais.....	10
2.4.1 Funções ecológicas	10
2.4.2 Composição química e biogênese dos óleos essenciais	11
2.5 Influência da fertilidade do solo na produção de plantas medicinais	12
2.5.1 Influência da adubação orgânica	13
2.5.2 Influência da adubação mineral.....	15
2.5.3 Influência da adubação organo-mineral	18
2.5.4 Influência do pH e da calagem	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Montagem do experimento	22
3.2 Condução e análise do experimento	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Crescimento das mudas de arnica.....	29
4.2 Teor e acúmulo de nutrientes e alumínio na parte aérea das mudas de arnica.....	34
4.3 Teor e rendimento de óleo essencial nas mudas de arnica	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
6 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	54

RESUMO

OLIVEIRA JÚNIOR, Antônio Claret de. *Calagem e adubações orgânica e mineral no crescimento de mudas e no teor e rendimento de óleo essencial da arnica [Lychnophora pinaster (MART.)]*. 2004. 55 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

A arnica é uma espécie de amplo uso na medicina popular. Com o objetivo de determinar teores de nutrientes na parte aérea e avaliar o crescimento e produção de óleo essencial de mudas de arnica, em função da calagem e de adubações orgânica e mineral, foi conduzido um experimento em casa de vegetação. Usou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 3 + 1$, sendo dois níveis de calagem (sem e com - $V=50\%$), três tipos de adubação (mineral, orgânica e organo-mineral), em um Cambissolo álico. O grupo controle constou de um tratamento adicional com um Neossolo Litólico, proveniente da região endêmica da arnica, sem nenhum tratamento, com o intuito de simular as condições naturais de desenvolvimento dessa espécie. Foram utilizadas dez repetições por tratamento, uma planta por vaso de $2,6 \text{ dm}^3$ de solo. Durante 150 dias de cultivo, tomaram-se medidas das alturas inicial e final, obtendo-se o crescimento relativo. Ao final desse período, determinaram-se as produções de massas fresca e seca de parte aérea e seca de raiz. Além disso, foi determinado o teor e o rendimento de óleo essencial na parte aérea fresca da arnica. Os resultados obtidos permitem concluir que a aplicação de calcário não foi uma prática viável, pois, além de não influenciar as variáveis de crescimento, atuou de forma negativa nos teores e rendimento de óleo essencial. Já para as adubações, foram os tratamentos que envolveram adubação mineral que proporcionaram o maior crescimento das mudas. Contudo, o rendimento de óleo não seguiu a ordem de crescimento. A complementação da adubação orgânica, principalmente para o P e o S, via adubos minerais, se mostrou uma prática necessária para um crescimento satisfatório da arnica. Dentre todos os tratamentos, digno de destaque foi aquele onde se aplicou uma adubação organo-mineral, sem calagem, pois este tratamento aliou um alto rendimento com um alto teor de óleo, além de um crescimento satisfatório da planta, igualando-se ao tratamento controle. A arnica é uma planta tolerante à acidez e ao Al do solo, sendo, inclusive, influenciada por este elemento no tocante ao teor e rendimento de seu óleo essencial.

* Comitê Orientador: Valdemar Faquin – UFLA (Orientador), José Eduardo Brasil Pereira Pinto – UFLA e Luiz Arnaldo Fernandes – UFMG

Apesar da crescente demanda, ainda é relativamente pequeno o conhecimento acumulado sobre o cultivo das espécies medicinais nativas do Brasil. Isso tem acarretado uma grande devastação dos recursos da nossa flora, o que, além dos danos ecológicos, gera dificuldades no controle de qualidade dos fitofármacos.

Considerada uma planta endêmica dos campos rupestres, a arnica (*Lychnophora pinaster* (Mart.) – Asteraceae) vem sofrendo grande pressão de extrativismo, devido ao seu largo uso na medicina popular. Essa situação levou Oliveira-Filho & Fluminhan-Filho (1999) a afirmarem ser essa e muitas outras espécies encontradas nesse ambiente merecedoras de grande prioridade de conservação, visto que essas plantas compõem uma flora muito especializada, de distribuição geográfica restrita.

Dentre as práticas agronômicas de manejo da fertilidade do solo, a calagem e a adubação se destacam como as mais tradicionais. Além da adubação mineral, hoje se preconiza o uso da adubação orgânica, não somente como parte essencial dos chamados cultivos orgânicos, mas também pelos inúmeros benefícios decorrentes da aplicação de matéria orgânica ao solo.

Atualmente o cultivo de plantas medicinais vem despontando como uma técnica sustentável de produção vegetal, pois se tornou uma alternativa de renda para pequenos agricultores familiares. Isto, além de contribuir para a preservação dos recursos da flora brasileira, possibilita o fornecimento de uma droga vegetal de qualidade constante.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o crescimento de mudas, teor e rendimento de óleo essencial de arnica em resposta às aplicações de calcário e adubações mineral e orgânica, além do teor e acúmulo de nutrientes e alumínio na parte aérea.

Arnica

RESUMO

OLIVEIRA JÚNIOR, Antônio Claret de. Calagem e adubações orgânica e mineral no crescimento de mudas e no teor e rendimento de óleo essencial da arnica [*Lychnophora pinaster* (MART.)]. 2004. 55 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

A arnica é uma espécie de amplo uso na medicina popular. Com o objetivo de determinar teores de nutrientes na parte aérea e avaliar o crescimento e produção de óleo essencial de mudas de arnica, em função da calagem e de adubações orgânica e mineral, foi conduzido um experimento em casa de vegetação. Usou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 3 + 1$, sendo dois níveis de calagem (sem e com – $V=50\%$), três tipos de adubação (mineral, orgânica e organo-mineral), em um Cambissolo álico. O grupo controle constou de um tratamento adicional com um Neossolo Litólico, proveniente da região endêmica da arnica, sem nenhum tratamento, com o intuito de simular as condições naturais de desenvolvimento dessa espécie. Foram utilizadas dez repetições por tratamento, uma planta por vaso de $2,6 \text{ dm}^3$ de solo. Durante 150 dias de cultivo, tomaram-se medidas das alturas inicial e final, obtendo-se o crescimento relativo. Ao final desse período, determinaram-se as produções de massas fresca e seca de parte aérea e seca de raiz. Além disso, foi determinado o teor e o rendimento de óleo essencial na parte aérea fresca da arnica. Os resultados obtidos permitem concluir que a aplicação de calcário não foi uma prática viável, pois, além de não influenciar as variáveis de crescimento, atuou de forma negativa nos teores e rendimento de óleo essencial. Já para as adubações, foram os tratamentos que envolveram adubação mineral que proporcionaram o maior crescimento das mudas. Contudo, o rendimento de óleo não seguiu a ordem de crescimento. A complementação da adubação orgânica, principalmente para o P e o S, via adubos minerais, se mostrou uma prática necessária para um crescimento satisfatório da arnica. Dentre todos os tratamentos, digno de destaque foi aquele onde se aplicou uma adubação organo-mineral, sem calagem, pois este tratamento aliou um alto rendimento com um alto teor de óleo, além de um crescimento satisfatório da planta, igualando-se ao tratamento controle. A arnica é uma planta tolerante à acidez e ao Al do solo, sendo, inclusive, influenciada por este elemento no tocante ao teor e rendimento de seu óleo essencial.

* Comitê Orientador: Valdemar Faquin – UFLA (Orientador), José Eduardo Brasil Pereira Pinto – UFLA e Luiz Arnaldo Fernandes – UFMG

ABSTRACT

OLIVEIRA JÚNIOR, Antônio Claret de. Liming, organic and mineral fertilizations in the seedlings growth and in the level and yield of arnica's oil essential. 2004. 55 p. Dissertation (Master of Science in Soil Science and Plant Nutrition) –University Federal of Lavras, Lavras, MG*

Arnica is one specie of broad use in popular medicine. Aiming to determinate its nutrients levels in the aerial parts and to evaluate the growth and essential oil in arnica seedlings, in function of liming and mineral, organic fertilization, a greenhouse experiment was carried out. It was used a randomized completely design in a factorial scheme $2 \times 3 + 1$, been, two levels of lime (without and with - V%=50%) and three fertilizations type (mineral, organic and organic-mineral) in an allic Cambisol. The control group was made of additional treatment with a Litholic Neosol from an arnica endemic region, without treatment, to simulate the natural conditions of development for this specie. Ten replications for treatment were used, one plant per pot of 2.6 dm³ of soil. During 150 growing days, initial and final heights were taken, obtaining the relative growth. At the end of that period of time, fresh and dry mass of the aerial part and dry mass of root productions were determined. It was also determined the level and yield of essential oil in the fresh aerial part of arnica. The results allowed to conclude that lime application was not useful, because, besides it did not influenciante the growth variables, it also worked as in negative ways in the levels and yield of essential oil. For the fertilizations, the treatments with mineral were the ones who gave the highest seedlings growth. However, the oil yield did not follow the growth order. The complementation for organic fertilization (P and S) showed to be necessary for the satisfactory arnica's growth. Among all treatments, the outstanding one was that where the organic-mineral fertilizer was used without using lime, because this treatment was united a high yield and a high oil level, besides the satisfactory plant growth, making even to the control treatment. Arnica is a tolerant plant to soil acidity and to the presence of Al in the soil too, inclusive it is influenciante by this chemical element when related to its level and yield of essential oil.

* Guidance Committee: Valdemar Faquin – UFLA (Major Professor), José Eduardo Brasil Pereira Pinto – UFLA and Luiz Arnaldo Fernandes – UFMG

geral

1 INTRODUÇÃO

As plantas são usadas pelo homem há milhares de anos como fonte de alimentos, medicamentos, energia, fibras e abrigos. Durante séculos os vegetais constituíram a base de toda a terapêutica humana. Até os dias de hoje, muitos extratos vegetais continuam sendo usados como medicamentos naturais ou como princípios ativos de remédios alopáticos. A farmacopéia popular vem consagrando diversas plantas e seus extratos como remédios naturais para muitos males, alguns deles sem tratamento eficaz, ou até mesmo oneroso, através da medicina convencional.

A Organização Mundial de Saúde (OMS), a partir de 1978, começou a definir diretrizes para que o uso de plantas medicinais tenha a devida importância no contexto mundial. Para isso, deu início a programas específicos, estimulando os países na sua utilização, uma vez que mais de 75% da população dos países em desenvolvimento têm nos vegetais o tratamento primário da saúde. No Brasil, diversos Estados já têm implantados Programas de Fitoterapia nas suas redes de saúde pública, como PR, SP, MG, GO, MT, PE, RJ, DF e ES, tornando tal atividade uma realidade disponível à população (Ming, 1996).

Com essa demanda crescente em termos de uso, há necessidade também de se estabelecer diretrizes agronômicas visando ao cultivo dessas plantas, de modo que o mercado seja suprido com material vegetal em quantidade e qualidade satisfatórias. Elisabetsky (1987) destaca a importância da pesquisa agronômica em plantas medicinais, inserindo esta etapa que até certo tempo não era mencionada. Madueño-Box (1973) destaca ainda a necessidade de se produzir plantas medicinais, não somente considerando sua biomassa, mas, sobretudo, os teores de princípios ativos nela contidos. Esse autor já ressaltava que a síntese desses princípios ativos pode ser alterada conforme as técnicas de cultivo.

Apesar da crescente demanda, ainda é relativamente pequeno o conhecimento acumulado sobre o cultivo das espécies medicinais nativas do Brasil. Isso tem acarretado uma grande devastação dos recursos da nossa flora, o que, além dos danos ecológicos, gera dificuldades no controle de qualidade dos fitofármacos.

I } Considerada uma planta endêmica dos campos rupestres, a arnica (*Lychnophora pinaster* (Mart.) – Asteraceae) vem sofrendo grande pressão de extrativismo, devido ao seu largo uso na medicina popular. Essa situação levou Oliveira-Filho & Fluminhan-Filho (1999) a afirmarem ser essa e muitas outras espécies encontradas nesse ambiente merecedoras de grande prioridade de conservação, visto que essas plantas compõem uma flora muito especializada, de distribuição geográfica restrita.

Dentre as práticas agronômicas de manejo da fertilidade do solo, a calagem e a adubação se destacam como as mais tradicionais. Além da adubação mineral, hoje se preconiza o uso da adubação orgânica, não somente como parte essencial dos chamados cultivos orgânicos, mas também pelos inúmeros benefícios decorrentes da aplicação de matéria orgânica ao solo.

I } Atualmente o cultivo de plantas medicinais vem despontando como uma técnica sustentável de produção vegetal, pois se tornou uma alternativa de renda para pequenos agricultores familiares. Isto, além de contribuir para a preservação dos recursos da flora brasileira, possibilita o fornecimento de uma droga vegetal de qualidade constante.

I } Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o crescimento de mudas, teor e rendimento de óleo essencial de arnica em resposta às aplicações de calcário e adubações mineral e orgânica, além do teor e acúmulo de nutrientes e alumínio na parte aérea.

Arnica

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pesquisas com plantas medicinais

O desenvolvimento tecnológico a partir do saber popular constitui um dos maiores patrimônios de um povo. Atualmente, o resgate do uso das plantas como medicamentos trouxe a necessidade de se ajuntar os conhecimentos étnicos sobre os vegetais com trabalhos acadêmicos, visando, entre outras coisas, à validação de suas propriedades terapêuticas.

Segundo estimativas da Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 80% da população mundial usam, principalmente, as medecinas tradicionais para suprir as necessidades de assistência médica primária. Tal fato levou a OMS a fomentar o estudo de plantas medicinais como fonte de medicamentos, como parte de seu programa "Saúde para todos no ano 2000" (Elizabetsky, 1987). Em concordância, Ming (1996) afirma que com o crescente uso de plantas medicinais na terapêutica humana, há necessidade de se pesquisar seu cultivo, visando à produção de matéria prima vegetal na quantidade e qualidade necessárias.

O estudo de plantas medicinais no Brasil não é novo, relatos datam de 1941, quando já se encontrava, no *Jornal dos Clínicos*, relatos de experimentos com extratos simples de plantas medicinais (Juliani, 1941, citado por Elizabetsky, 1987). No presente, o grande número de eventos de divulgação de trabalhos acadêmicos, notadamente no campo da horticultura, não deixa dúvidas quanto ao grande potencial de exploração e crescimento desse tipo de pesquisa.

Nosso país, no tocante ao desenvolvimento de drogas a partir de plantas, se encontra numa situação privilegiada. Além de possuir uma flora rica, detém populações conhecedoras das propriedades dessas plantas e culturalmente adaptadas ao seu uso enquanto medicamento.

Segundo Elizabetsky (1987), o desenvolvimento de medicamentos a partir de plantas somente é possível desde que se invista em testes de eficácia, segurança e controle de qualidade. Para atingir tais objetivos, torna-se imperativo que as pesquisas sejam inerentemente interdisciplinares. Portanto, devem envolver aspectos botânicos, agrônômicos, farmacêuticos etc; integrando, dessa forma, toda a cadeia de produção.

Desse modo, considerando o valor das plantas medicinais não apenas como recurso terapêutico, mas também como fonte de recursos econômicos, torna-se importante estabelecer linhas de ação voltadas para o desenvolvimento de técnicas de manejo ou cultivo, tendo em vista a utilização dessas espécies pelo homem aliada à manutenção do equilíbrio dos ecossistemas tropicais (Reis & Mariot, 2002), o que se traduz em sustentabilidade.

2.1.1 Pesquisas com arnica

Na literatura internacional, de modo geral, poucos trabalhos têm sido encontrados a respeito das espécies do gênero *Lychnophora* sp. Os poucos que são encontrados fazem referência a estudos de fenologia (Silva, 1994), fitoquímicos (Pinheiro, 2002), micropropagação (Souza, 2003) e terapêuticos de *Lychnophora* spp. A grande maioria dos trabalhos referentes à arnica, trata da espécie *Arnica montana*. Parte dos motivos são explicados pelo fato desta espécie (*A. montana*) ser recomendada pela medicina oficial européia desde o século XVIII. Outro fato é o interesse pela *L. pinaster* ser basicamente nacional, pois, como será visto adiante, esta espécie é endêmica do cerrado brasileiro, mais especificamente dos campos rupestres.

As propriedades medicinais de *Lychnophora* spp. foram comprovadas por Oliveira et al. (1992), Saúde et al. (1994), Borsato et al. (2000) entre outros, validando o seu amplo uso popular.

Em levantamentos florísticos na Serra da Bocaina, em torno de Lavras (MG), efetuados por Carvalho (1992) e Rodrigues & Carvalho (2001) foram identificados arbustos de *L. pinaster* crescendo em campos de pedras.

Em seu trabalho, Oliveira-Filho & Fluminhan-Filho, (1999), também nessa região, relatam que essa espécie se encontra na categoria de plantas vulneráveis. Relatos semelhantes são encontrados em Silva (1994). O principal motivo dessa afirmação reside no grande uso dessa espécie na medicina popular, aliado a uma exploração excessiva, com destruição do ambiente endêmico.

Silva (1994) afirma que, se formas de sobrevivência para esta espécie não forem asseguradas, pode-se chegar à sua extinção. Para tanto, esta autora estudou os aspectos fenológicos e reprodutivos da arnica, concluindo que ela possui um comportamento sazonal, com relação aos seus aspectos vegetativos, reprodutivos e dispersão de frutos, em função das variações climáticas. Concluiu, ainda, que com relação à fenologia, floresce nos meses de agosto a outubro, dispersando seus frutos nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Justificando a preocupação desses autores, Souza (2003) definiu um protocolo de propagação *in vitro* para a arnica. Em seu trabalho, esta autora sugere que sejam pesquisadas formas de cultivo para essa espécie.

Um cultivo em nível comercial seria capaz de fornecer material vegetal de qualidade para a indústria farmacêutica, auxiliando, inclusive, na solução do problema de extrativismo que esta espécie sofre. Outra vantagem adicional desse cultivo, mas não menos importante, é possibilitar uma diversificação de renda nas pequenas propriedades agrícolas.

2.2 A planta de arnica

A *Lychnophora pinaster* (Asteraceae) é uma planta perene, arbustiva, bastante ramificada, atingindo 3,0 m de altura (Figura 1). É endêmica do cerrado brasileiro, mais precisamente dos campos rupestres e outros campos de altitudes

obs

elevadas (altos de serras) (Rodrigues & Carvalho, 2001). É conhecida popularmente como arnica, falsa-arnica ou arnica-da-serra (Borsato et al., 2000).

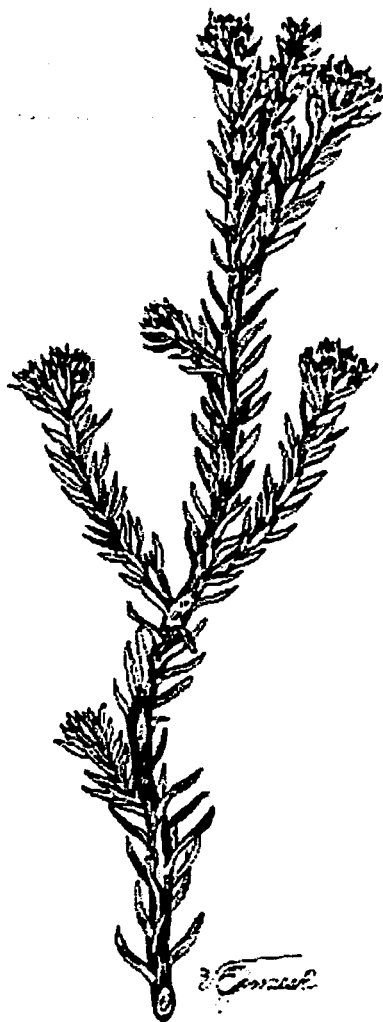


FIGURA 1 – Ilustração de um ramo florido de *L. pinaster*.
Fonte: Rodrigues & Carvalho (2001)

O gênero *Lychnophora* sp. apresenta espécies com microendemismo bastante pronunciado, com distribuição restrita aos campos rupestres de quartzito da Bahia, Goiás e Minas Gerais (Semir, 1991; citado por Silva, 1994 e Souza, 2003).

O campo rupestre é um tipo de vegetação altamente especializado que ocorre no alto das montanhas das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (Bahia), normalmente acima dos 1200 m de altitude e sobre solos muito rasos ou afloramentos rochosos. Suas plantas apresentam adaptações para sobreviver a variações extremas de temperatura e disponibilidade de água. A altitude elevada, a inclinação do terreno e os afloramentos rochosos favorecem uma grande amplitude térmica, tanto ao longo do dia quanto entre as estações do ano. Devido à rochosoidade e às fortes declividades, as precipitações são seguidas de enxurradas e curtos períodos de excesso hídrico. Entre as precipitações ocorrem longos períodos de forte déficit de água (Oliveira-Filho & Fluminhan-Filho, 1999), caracterizando, portanto, um ambiente xérico.

A arnica, segundo Coile & Jones (1981), citados por Silva (1994), ocorre em solos superficiais retidos em arenito, quartzito ou depósitos ferrosos, ou areia branca profunda, parecendo estar restrita a um ambiente edáfico de substrato particular ou a diferentes regimes de umidade. Carvalho (1992) observou arbustos de *L. pinaster* crescendo sobre depressões rochosas, onde há acúmulo de matéria orgânica.

Trata-se de uma planta amplamente usada na medicina popular. Suas propriedades etnoterapêuticas são: antiinflamatória, anestésica e cicatrizante em traumatismos, contusões e picadas de insetos. Estes efeitos são comparáveis aos da *Arnica montana* (Asteraceae) (Pinheiro et al., 2002). Seu uso se dá, principalmente, através de extrato alcoólico das folhas e flores (Pinto et al., 1999) e também na forma de raízes em pó (Borsato et al., 2000). Pinto et al.

(1999) afirmam que seu uso interno pode ser tóxico, aconselhando, portanto, somente o uso externo.

Os constituintes fitoquímicos do extrato etanólico da amica são: ácidos orgânicos, taninos, flavonóides, azulenos, esteróides e triterpenóides, depsídeos e depsídonas, saponina espumídica, antraquinonas e lactonas sesquiterpênicas (Pinheiro et al., 2002).

A flora especializada dos campos rupestres é muito rica em espécies de distribuição ecológica e geográfica muito restrita, como, por exemplo, plantas das famílias Asteraceae, Velloziaceae, Melastomataceae e Orchidaceae. É comum encontrarem-se espécies endêmicas apenas de certas serras e montanhas, como é o caso da amica, o que torna este tipo de vegetação merecedor de grande prioridade de conservação (Oliveira-Filho & Fluminhan-Filho, 1999).

2.3 Princípios ativos e meio-ambiente

Os vegetais, pelo fato de não se locomoverem, desenvolveram ao longo de suas existências uma capacidade muito maior de adaptação ao ambiente, quando comparados com os animais. Estas relações de adaptação se dão via reações metabólicas desenvolvidas em resposta a alterações no meio em que as plantas se desenvolvem ou são naturalmente selecionadas. A esse conjunto de reações dá-se o nome de metabolismo secundário.

Os metabólitos secundários podem ser considerados como produtos originários de erros inatos do metabolismo principal ou subprodutos do consumo de um metabólito primário. Parte desses compostos podem provocar reações nos organismos vivos, sendo então conhecidos como “princípios ativos”. Os princípios ativos podem ou não ser tóxicos, dependendo da dosagem utilizada. Assim, planta medicinal é aquela que contém um ou mais princípios ativos, conferindo-lhe atividade terapêutica (Rodrigues & Carvalho, 2001).

São vários os grupos de princípios ativos vegetais, tais como: alcalóides, heterosídeos, óleos essenciais, substâncias amargas, taninos, ácidos orgânicos, compostos inorgânicos, flavonóides, cumarinas, antraquinonas, compostos fenólicos etc (Martins et al., 1994; Rodrigues & Carvalho, 2001 e Cardoso et al., 2001).

Sendo os princípios ativos a expressão da relação da planta com o seu meio circundante, a sua concentração se torna, portanto, função da interação da expressão genética do vegetal com os estímulos ambientais. Esses estímulos são caracterizados como situações de estresse, ou seja, excesso ou deficiência de fatores como luz, temperatura, umidade, altitude, nutrientes, ainda pela presença de poluentes, doenças e animais herbívoros (Rodrigues & Carvalho, 2001 e Santos, 2002).

Atualmente, considera-se a existência de funções ecológicas, especialmente como inibidores de germinação, na proteção contra predadores, na atração de polinizadores, na proteção contra perda de água e aumento da temperatura, entre outras (Cardoso et al., 2000 e Santos, 2002).

Ming (1996) afirma que alterações decorrentes do cultivo das plantas medicinais, mais especificamente da fertilidade do solo, levarão a modificações nas concentrações dos princípios ativos nesses vegetais. Assim, práticas agronômicas devem ser estudadas para verificar sua influência na produção de biomassa, visando um melhor rendimento por unidade de área e teores desejáveis de princípios ativos em plantas medicinais.

Assim, a elevada capacidade biossintética dos vegetais, tanto em relação ao número de substâncias produzidas, quanto a sua diversidade numa mesma espécie pode ser uma fonte particularmente promissora de novas moléculas potencialmente úteis ao homem (Santos, 2002).

2.4 Óleos essenciais

2.4.1 Funções ecológicas

Segundo Simões & Spitzer (2002), a International Standard Organization (ISO) define óleos essenciais como produtos obtidos de partes de plantas através de destilação por arraste com vapor d'água, bem como os produtos obtidos por prensagem dos pericarpos de frutos cítricos. De forma geral, são misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas e líquidas. São substâncias de aroma agradável e intenso, capazes de aromatizar as soluções aquosas em que se encontram diluídos (hidrolatos). Também, podem ser chamadas de óleos voláteis, óleos etéreos ou essências.

Quando puros, os óleos freqüentemente apresentam toxicidade elevada, tanto que, dentro das recomendações de uso, encontram-se as pequenas dosagens, ou seja, sua toxicidade é dose-dependente (Cardoso et al., 2000). Essa informação é mais relevante quando se usa o óleo essencial como agente de controle de insetos e doenças em plantas, principalmente as cultivadas.

Os óleos essenciais são comumente encontrados em angiospermas dicotiledôneas, como por exemplo, na família Asteraceae. Podem ser armazenados em qualquer órgão da planta, mas sua composição varia segundo a localização (Simões & Spitzer, 2002). Na amica, as folhas e inflorescências são os principais órgãos de estocagem desses metabólitos.

Os óleos essenciais, como fruto do metabolismo secundário vegetal, têm como principal função biológica características relacionadas à sua volatilidade. Assim, agem como sinais de comunicação química com, por exemplo, polinizadores e outros vegetais, além de se comportarem como agentes de defesa contra animais (Cardoso et al., 2000 e Simões & Spitzer, 2002).

Outra função ecológica dos óleos essenciais é a proteção contra a perda d'água e aumento de temperatura (Cardoso et al., 2000). Esta pode ser uma das

funções do óleo essencial na planta de amica, pois como descrito anteriormente, essa planta é originária de um ambiente xérico, ou seja, sofre déficit hídrico ao longo do ano, além de grandes variações de temperatura entre o dia e a noite.

2.4.2 Composição química e biogênese dos óleos essenciais

Os óleos essenciais são formados por uma mistura de moléculas orgânicas, como: hidrocarbonetos terpênicos, álcoois simples e terpênicos, ésteres, éteres, aldeídos, cetonas, fenóis, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas, compostos de enxofre etc., apresentando um composto majoritário, normalmente os terpenóides (Cardoso et al., 2000 e Simões & Spitzer, 2002).

Os terpenóides são substâncias formadas a partir de moléculas de isopreno (Figura 2A). Os compostos terpênicos mais freqüentes em óleos essenciais são os sesquiterpenos (Figura 2C) e os monoterpenos (Figura 2B), sendo que estes últimos representam 90% dos óleos. Como todo metabólito secundário, os terpenóides são formados por rotas alternativas do metabolismo primário. São derivados do acetato, via ácido mevalônico (Cardoso et al., 2001).

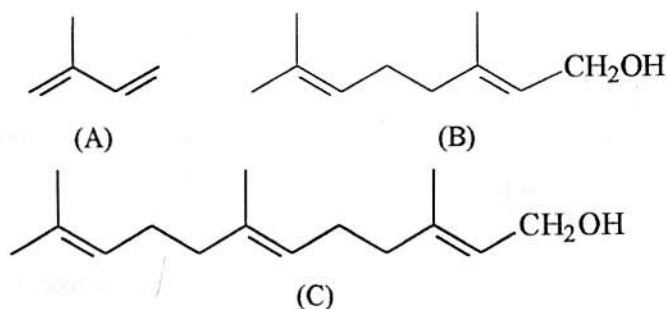


FIGURA 2 – Estrutura química das moléculas: (A) Isopreno; (B) Monoterpeno e; (C) Sesquiterpeno.
Fonte: Cardoso et al. (2001)

O mevalonato é formado da condensação de uma unidade da acetoacetyl-CoA com uma molécula da acetyl-CoA. Após a condensação aldólica, ocorre

uma hidrólise originando a 3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA que é reduzida a mevalonato, numa reação irreversível. Ao sofrer fosforilação e descarboxilação, o mevalonato gera o isopentenilpirofosfato. A isomerização do isopentenilpirofosfato leva a formação do dimetilalilpirofosfato. A condensação destes isômeros, seguida de posteriores incorporações de unidades de isopentenilpirofosfato leva a formação de todos os compostos terpenóides, dentre eles os mono (C10) e sesquiterpenos (C15) (Cardoso et al., 2001 e Santos, 2002).

2.5 Influência da fertilidade do solo na produção de plantas medicinais

O termo qualidade para produção de uma planta medicinal transcende os limites da aparência e abundância da massa vegetal obtida. É preciso ir além, focando este conceito com base na concentração dos princípios ativos nela contidos. Desta forma tem-se a garantia de uma droga vegetal que realmente atende às necessidades daqueles que a consomem.

Os vegetais produzem seus compostos a partir dos nutrientes a eles fornecidos (Rodrigues & Carvalho, 2001). Dentre os fatores de estresse que podem interferir na composição química de uma planta, a nutrição merece destaque. A deficiência e, ou, excesso de nutrientes pode promover maior ou menor produção de fármacos numa planta (Pinto et al., 1999).

Pinto & Lameira (2001) afirmam ainda que uma adubação equilibrada é a chave para a obtenção de plantas mais resistentes a pragas, doenças e também com maiores teores de fármacos.

Além da presença de nutrientes, outros fatores como o teor de água do solo, fotoperíodo, temperatura, época de colheita etc., podem influenciar no crescimento da planta e na composição química de seu óleo essencial. Contudo, segundo Santos (2002), não se pode prever ou estabelecer um padrão único, pois cada espécie reage de forma diferenciada a esses estímulos.

Pelo fato de o interesse no cultivo comercial de plantas medicinais ser um tanto recente, informações sobre a nutrição dessas espécies ainda são escassas e dispersas. No tocante ao cultivo específico da amica este fato se intensifica, pois trabalhos científicos envolvendo esta espécie são ainda mais raros na literatura.

2.5.1 Influência da adubação orgânica

A adubação orgânica, prática milenar de fertilização dos solos cultivados, reconhecidamente contribui para a atividade biológica e produção das culturas. Esse efeito da matéria orgânica tem sido relacionado com seu conteúdo de nutrientes e modificações nas propriedades físicas do solo, principalmente através da melhor agregação do solo, que, por sua vez, influencia na capacidade de infiltração e retenção de água, drenagem, aeração, temperatura e penetração radicular (Silva et al., 1999). Contudo, Varanine et al. (1993) afirmam que a resposta de crescimento obtida com a adubação orgânica não pode ser explicada somente pelo seu conteúdo de nutrientes ou melhores condições físicas do solo, mas também pela melhor absorção de nutrientes.

Essa melhor absorção de nutrientes pelas plantas na presença de matéria orgânica pode ser atribuída a interações entre os compostos orgânicos e à membrana plasmática das células. Varanine et al. (1993) constataram um aumento da atividade de H^+ -ATPases da membrana de vesículas isoladas de raízes de aveia na presença de substâncias húmicas de baixo peso molecular.

Nos solos brasileiros, onde predominam, na fração argila, minerais como caulinita e óxidos de ferro e alumínio, com baixo poder de troca catiônica, a matéria orgânica assume papel de extrema importância na manutenção da sua fertilidade.

Pinto et al. (1999) sugerem que em plantas medicinais, tanto o nitrogênio, quanto o fósforo devem ser aplicados em formas menos solúveis, ou

seja, através de composto orgânico ou fosfatos naturais, respectivamente. Segundo estes autores, as adubações com N mineral podem trazer problemas na produção de substâncias ativas. Esse paradigma, que predomina desde o início do cultivo das plantas medicinais, levou autores como Mattos (1989), citados por Scheffer (1991), a afirmarem que essas plantas teriam “vocaç o” para receberem aduba o org nica.

A alfavaca-cravo (*Ocimum gratissimum* L.), cultivada sobre aduba o org nica (esterco de galinha) e colhida em diferentes  pocas do ano, n o teve o rendimento de  leo e eugenol influenciados pelas doses do esterco. As diferen as encontradas ficaram somente a cargo da sazonalidade (Chaves et al., 2002b). Chaves et al. (2002a) relatam que aumentos nas doses de esterco de galinha aumentaram a produ o de folhas em alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.), principal  rg o produtor do  leo essencial. Os tratamentos n o influenciaram significativamente a produ o desse metab lito. Apesar dos autores n o relatarem, o aumento na produ o de folhas, sem diminui o no teor de  leo, permite inferir que a maior dose de adubo seria a mais adequada. Contudo, eles relatam que a qualidade do  leo foi modificada em fun o das dosagens, sendo a mediana a mais interessante, pois teria uma propor o mais adequada dos constituintes – timol e p-cimeno.

Em estudo sobre o comportamento da camomila (*Chamomilla recutita*) sobre aduba es org nica e mineral, Corr a J nior (1994) constatou que os tratamentos n o influenciaram a produ o de material vegetal, nem a concentra o de  leo essencial. Esse fato se deve, provavelmente, pelos tratamentos n o terem proporcionado diferen as significativas entre os teores de nutrientes, nem no solo, nem no tecido foliar da camomila.

Ming (1992) verificou que a aduba o com esterco de gado aumentou a produ o de biomassa em *Lippia alba*, por m o teor de  leo diminuiu em doses crescentes dessa aduba o. Por outro lado, Scheffer (1991), em ensaios com

Achillea millefolium, verificou que a adubação orgânica aumentou a produção de biomassa e rendimento de seu óleo essencial.

Na Índia, Prakasa Rao et al. (1989), verificaram que a *Cymbopogon Marini* var. motia não respondeu (biomassa e concentração de óleo essencial) à aplicação de esterco. Em contrapartida, com aplicação de N, via adubo NPK, teve sua biomassa aumentada em função das doses do nutriente, aumentando, conseqüentemente, o conteúdo de P e K na massa vegetal.

Corrêa Júnior (1994) cita que, nos últimos anos grande atenção tem sido dada para a Bio-agricultura, onde as plantas medicinais têm melhor qualidade justamente quando coletadas em áreas nativas ou se produzidas em solos fertilizados unicamente com matéria orgânica. Provavelmente por uma questão de adaptação dessas plantas a condições ambientais adversas. Entretanto, este autor comenta que, quantidades crescentes destas plantas são requeridas pelo mercado, o que leva a uma necessidade de aplicação de fertilizantes minerais para se obter uma melhor concentração de princípios ativos.

2.5.2 Influência da adubação mineral

Com relação à adubação mineral, encontram-se na literatura diversos trabalhos envolvendo principalmente uso dos macronutrientes primários e suas influências sobre a produção de fitomassa e princípios ativos das plantas medicinais. Informações sobre o uso de macronutrientes secundários e micronutrientes são mais raras, identificando resultados muitas vezes inconsistentes. Contudo, Pinto & Lameira (2001) asseguram que estes nutrientes exercem efeitos indiretos sobre os teores de princípios ativos em plantas.

Entre os macronutrientes, destaca-se a influência do nitrogênio na produção de biomassa, principalmente nas plantas das quais se aproveitam as flores e inflorescências (Furtini Neto & Tokura, 2000). Isso, na *Mentha arvensis*, se deve a um somatório de fatores fisiológicos, que, interagindo com o N,

contribuem para uma maior síntese de açúcares, aminoácidos e ácidos nucleicos, resultando em maior massa total de planta. No entanto, a produção de fitofármacos nem sempre acompanha o ganho de biomassa (Furtini Neto & Tokura, 2000), pois, obviamente, qualquer estresse de nitrogênio afeta a formação daqueles compostos, gerando uma perturbação metabólica que afeta o metabolismo de proteínas, alterando as vias enzimáticas (Faquin, 2001). Ao afetar as rotas metabólicas toda a formação de compostos não nitrogenados sofre alterações (Pinto & Lameira, 2001).

A aplicação de N influenciou positivamente a produção de biomassa e óleo essencial em patchouli (*Pogostemon cablin*), no semi-árido indiano (Singh et al., 2002). A maior dose de N (200 kg ha⁻¹) proporcionou os melhores resultados em produção, que, no entanto, não se confirmaram em maiores teores de óleo essencial. Esse fato se deve, segundo os autores, a um maior desenvolvimento da parte aérea, ocasionando um efeito de diluição do óleo.

Maia (1998) afirma que alterações no meio podem ser utilizadas para obtenção de óleos com proporções diferentes de constituintes. Esse autor relata que a omissão de N eliminou completamente a produção de limoneno do óleo de *M. arvensis*. A omissão de N, P, K e Ca reduziu drasticamente a produção de material verde e a composição do óleo essencial, afetando, conseqüentemente, a sua qualidade.

O fósforo, ao que parece, é o nutriente que atua mais diretamente na produção de óleos essenciais, visto que atua na formação dos terpenóides, principais constituintes desses óleos. Rodrigues (2003), trabalhando com *Mentha piperita* em solução nutritiva, verificou a influência das concentrações de P no seu crescimento e teor de óleo essencial. Segundo esse autor, as maiores doses deste nutriente reduziram os teores de óleo, em função do aumento de fitomassa. Pinto & Lameira (2001) relatam que, algumas vezes, em cultura de células,

baixas concentrações de fosfato são benéficas para um metabolismo secundário ativo.

A importância do potássio está principalmente ligada às plantas produtoras de alcalóides, havendo efeitos nos teores desses princípios ativos, em função da concentração de potássio no solo (Pinto et al., 1999).

Pinto & Lameira (2001) relatam que várias enzimas ligadas à síntese de mono e diterpenóides são afetadas pela presença de magnésio, ferro e manganês. O enxofre, segundo eles, também estaria ligado à ativação do metabolismo celular, propiciando a biossíntese de fitoquímicos que contém este nutriente, por exemplo, poliacetilenos, glicosídeos do óleo de mostarda etc. Já alguns compostos de enxofre atuam na síntese de vários intermediários de metabólitos secundários (Pinto & Lameira, 2001).

Ming (1996), citando Lásloz (1979), relata que tanto a adubação nitrogenada, quanto potássica, aumentaram a fitomassa de aneto e o seu teor de óleo essencial variou com as doses aplicadas. Já a adubação fosfórica não influenciou a produção de biomassa, mas o teor de óleo essencial nos frutos aumentou.

Yadav et al. (1984), Rao et al. (1985) e Singh et al. (1992), em experimentos com *Cymbopogon* spp. verificaram que a aplicação de nitrogênio aumentou o rendimento em biomassa e óleo essencial. Madueño-Box (1973) observou o aumento no teor de óleo essencial de umbelíferas de raiz, como a angélica, em resposta ao superfosfato de cálcio e ao sulfato de potássio.

Em trabalho com ipeca (*Cephaelis ipecacuanha*), Costa (1995) constatou que alterações nutricionais induziram uma maior síntese do alcalóide emetina no sistema radicular dessa espécie. Essas alterações modificaram, inclusive, o desenvolvimento vegetativo do sistema radicular e da parte aérea dessa espécie.

O nitrogênio e o fósforo afetaram o crescimento vegetativo da camomila (*Chamomilla recutita*) 'mandirituba'; contudo, não houve efeito significativo da

interação desses nutrientes (Vieira, 2001). Cavarianni et al. (2001) relatam que a produção de rizomas de cúrcuma foi afetada por doses de potássio, mas não foi por doses de nitrogênio.

2.5.3 Influência da adubação organo-mineral

Apesar das suas grandes vantagens, a utilização de adubação orgânica apresenta algumas limitações, tais como: uso de grandes quantidades, tornando onerosa a produção, principalmente quando não há possibilidade de obtenção na propriedade e baixa concentração em alguns nutrientes (Furtini Neto & Tokura, 2000). Estes fatores, de acordo com cada cultura, podem fazer com que haja necessidade de complementação nutricional via adubação química.

Verificando a associação de adubos orgânico e químico em carqueja amarga (*Baccharis trimera*), Silva et al. (2001) relatam que esta espécie teve sua produção de biomassa alterada quando na presença da associação e o teor de óleo essencial dessa espécie foi tanto maior quanto foi menor o nível de adubação, provavelmente pelo maior estresse nutricional imposto às plantas. Ressaltam, ainda, que o aumento na produção de biomassa, na presença de adubação, é mais vantajoso, pois o rendimento de óleo essencial por planta é maior.

A tanchagem (*Plantago major* L.), ao que parece, é uma planta que responde a adubações mistas (mineral associada à orgânica). Estudando o seu comportamento em relação à biomassa e ao teor de mucilagem, quando submetida a adubações orgânica, química e organo-mineral, Garcia (1998) verificou que, para todas as características de biomassa analisadas, a adubação mista proporcionou melhores respostas. Para o teor de mucilagem, não houve diferenças entre os tipos de adubação. Neste sentido, Corrêa Júnior et al. (1991) afirmam que esta espécie necessita de complementação nitrogenada, quando cultivada sobre adubação orgânica.

O efeito benéfico da adubação organo-mineral em *Sesamum indicum* foi evidente (Tiwari et al., 1995). Neste trabalho, a aplicação somente de fertilizante NPK foi superior ao controle. Contudo, nos tratamentos que se associaram os tipos que adubação, é que se obtiveram as melhores relações de custo/benefício, principalmente quando houve adição de micronutrientes (Zn e Mn) à mistura.

2.5.4 Influência do pH e da calagem

Várias plantas medicinais, quando submetidas à calagem apresentam respostas positivas. Tal fato, provavelmente, se deve não só ao fornecimento de nutrientes – Ca e Mg – mas, sobretudo, pela alteração de pH, com conseqüente diminuição da disponibilidade do alumínio e manganês tóxicos. No entanto, informações a respeito do comportamento de cada espécie, notadamente sobre a produção de fitofármacos ainda são muito necessárias.

Estudando a produção de pseudobulbo de funcho doce (*Foeniculum vulgare* var. Dulce), Fernandes et al. (2002) verificaram que houve incremento de massa seca em função da calagem e adubação com esterco de curral. O quebra-pedra (*Phyllanthus niruri* L.), na ausência de calagem teve sua matéria seca decrescente de forma linear, em função das doses de nitrogênio (Becker et al., 2000, citados por Furtini Neto & Tokura, 2000). Choudhury & Bordoloi (1993), trabalhando com *Cymbopogon martini* var. motia em solos ácidos da Índia, verificaram que tanto a produção em massa seca, quanto a produção de óleo foram crescentes com o aumento do pH do solo. Para a erva-baleeira (*Cordia verbenacea* L.), Arrigoni-Blank et al. (1999) afirmam que, não só a adubação, mas também a calagem em solos ácidos e de baixa fertilidade são essenciais para o crescimento desta espécie medicinal.

Entretanto, Ming (1996), trabalhando com mentrasto (*Ageratum conyzoides*) cultivado com calagem, adubações orgânica e mineral, concluiu que esses tratamentos não influenciaram o teor de óleo essencial em folhas e flores

durante as fases de desenvolvimento da planta. Não houve diferenciação entre os tratamentos para a produção de matéria fresca de raízes, folhas e flores.

Plântulas de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) preparadas em substrato composto com calcário e adubo químico apresentaram sobrevivência significativamente alterada pelas doses do corretivo e fertilizantes. As maiores doses diminuíram a sobrevivência, ao passo que doses medianas apresentaram melhores resultados (Santos Neto et al., 2001).

Por outro lado, em literaturas clássicas, tais como Marschner (1995), encontram-se afirmações de que baixas concentrações de Al têm efeitos benéficos sobre o crescimento de plantas, notadamente as tolerantes ou as acumuladoras de Al.

Goodland & Ferri (1979) afirmam que, de modo geral, as espécies nativas do cerrado são tolerantes à toxidez por Al, uma vez que nos solos desse ambiente a disponibilidade média desse elemento é de 75 mg kg^{-1} . Esses autores afirmam ainda que o xeromorfismo observado nessas regiões estaria mais ligado a saturação por Al e suas conseqüências nutricionais, que à própria escassez de água. Dessa forma, o xeromorfismo evoluiria do cerrado para os campos, onde a vegetação se torna mais esparsa e adaptada ao déficit hídrico.

Essas plantas, devido a questões de adaptação, possuem diversos mecanismos exclusão e, ou, tolerância ao excesso de Al, tais como: imobilização das formas tóxicas de Al na rizosfera, pela elevação do pH, através da absorção seletiva de ânions (NO_3^-) e cátions (NH_4^+); diminuição na taxa de absorção (exclusão) e, ou, aumento nas taxas de imobilização interna de espécies fitotóxicas de Al; excreção radicular de exsudatos, como ácidos orgânicos (málico, oxálico, cítrico etc) e polipeptídeos que possuem ação quelante sobre íons Al no tonoplasto celular de raízes e na rizosfera; associação micorrízica, promovendo aumento na absorção de P e ação hormonal protetora (Keltjens, 1997 e Mengel & Kirkby, 2001). Esses mecanismos variam não só entre

espécies, mas também entre genótipos de uma mesma espécie (Marschner, 1995).

Entre as espécies acumuladoras de Al, destaca-se o chazeiro por ser capaz de reter em seus tecidos altíssimas concentrações desse elemento. Isto, segundo Mengel & Kirkby (2001), se deve a uma compartimentalização do Al nas folhas mais velhas da planta, através de mecanismos de quelação do Al que envolvem a presença de polifenóis. Segundo Osaka et al. (1997), outra espécie dita acumuladora de Al na parte aérea é a *Melastoma malahathricum*. Em seu trabalho, esses autores verificaram que *Melastoma* sp. não absorve o P e o N sem a presença do Al, o que, segundo eles, indica um excelente sistema de adaptação a solos com baixo pH.

Apesar do chazeiro não ser uma planta tropical, de certo, poderemos encontrar, em meio a tão diversa flora brasileira, plantas medicinais com comportamento semelhante, dadas as condições químicas e mineralógicas dos nossos solos, notadamente do domínio dos cerrados.

Dessa forma, deseja-se que os resultados gerados neste trabalho possam delinear melhores horizontes para o futuro da amica e outras espécies medicinais nativas, notadamente no âmbito da exploração racional dos recursos naturais. É certo que, em se tratando de uma planta medicinal, nunca se deve esquecer a qualidade do fitofármaco produzido. Assim, espera-se avaliar o comportamento da amica em relação à calagem e adubações, práticas tradicionais de cultivo. Com isso, estar-se-á contribuindo para a geração de informações a respeito dos fatores nutricionais na produção de princípios ativos. Adicionalmente, estar-se-á dando seqüência a estudos anteriores, pelos quais autores preocupados com a manutenção do equilíbrio ambiental iniciaram pesquisas com essa espécie, de amplo uso na medicina popular.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Montagem do experimento

O solo utilizado pertence à classe dos Cambissolos, proveniente da região de Nazareno (MG). Atualmente, esse solo está classificado, de acordo com EMBRAPA (1999), em CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, mas se encontra descrito detalhadamente em Giarola (1994). Foi obtida uma amostra suficiente da camada de 0-20 cm de profundidade (horizonte A), sob vegetação natural, tomando-se cuidado de retirar todo o material vegetal da superfície. A amostra, após a coleta, foi destorroada, seca ao ar e peneirada em malha de 2 mm de abertura, constituindo uma terra fina seca ao ar (TFSA). Ao mesmo tempo, foram tomadas subamostras para caracterizações físicas e químicas da fração TFSA (Tabela 1). Os dados mineralógicos foram obtidos de Giarola (1994).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 3 + 1$, a saber: dois níveis de calagem (sem e com calcário, sendo que este último visando elevar a saturação por bases a 50% pelo método do V%, de acordo com análise de solo – Tabela 1) e três tipos de adubação (mineral, orgânica e organo-mineral – 50% de cada um dos tipos anteriores). Para o controle foi montado um tratamento adicional, usando material de um NEOSSOLO LITÓLICO coletado na Serra da Bocaina, em torno do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito, região de Lavras-MG (área endêmica da amica). Esse material foi peneirado em malha de 4 mm de abertura e não recebeu qualquer tratamento de melhoria da fertilidade (Tabela 2). Foram utilizadas 10 repetições por tratamento, perfazendo um total de 70 parcelas.

TABELA 1. Composição química, física e mineralógica do CAMBISSOLO HÁPLICO sob condição natural, antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos Químicos			
pH ¹	5,3	t ¹ (cmolc dm ⁻³)	1,3
P ¹ (mg dm ⁻³)	1,2	T ¹ (cmolc dm ⁻³)	3,8
K ¹ (mg dm ⁻³)	17	V ¹ (%)	16,7
S ¹ (mg dm ⁻³)	3,7	m ¹ (%)	52
Ca ¹ (cmolc dm ⁻³)	0,4	Zn ¹ (mg dm ⁻³)	1,5
Mg ¹ (cmolc dm ⁻³)	0,2	Fe ¹ (mg dm ⁻³)	76,4
Al ¹ (cmolc dm ⁻³)	0,7	Mn ¹ (mg dm ⁻³)	2,7
H+Al ¹ (cmolc dm ⁻³)	3,2	Cu ¹ (mg dm ⁻³)	0,5
SB ¹ (cmolc dm ⁻³)	0,6	B ¹ (mg dm ⁻³)	0,1
P-rem ² (mg L ⁻¹)	23,0		
Atributos Físicos			
Areia (dag kg ⁻¹)	56	Argila (dag kg ⁻¹)	25
Silte (dag kg ⁻¹)	19	MO. ¹ (dag kg ⁻¹)	1,6
Atributos Mineralógicos [*]			
SiO ₂ ³ (dag kg ⁻¹)	14,4	Fe _d ⁽⁴⁾³ (dag kg ⁻¹)	3,60
Al ₂ O ₃ ³ (dag kg ⁻¹)	15,5	Ct ⁽⁴⁾ (dag kg ⁻¹)	40
Fe ₂ O ₃ ³ (dag kg ⁻¹)	2,3	Gb ⁽⁴⁾ (dag kg ⁻¹)	15
TiO ₂ ³ (dag kg ⁻¹)	0,30	Ki ⁽⁵⁾	1,57
P ₂ O ₅ ³ (dag kg ⁻¹)	0,01	Kr ⁽⁵⁾	1,46

⁽¹⁾ pH = pH em água; P = fósforo; K = potássio; S = enxofre; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; T = cap. troca de cátions (CTC) a pH 7; t = CTC efetiva; m = saturação por Al e V = saturação por bases; MO = matéria orgânica (EMBRAPA, 1997). ⁽²⁾ P-rem = P remanescente (Alvarez V. et al., 2000). ⁽³⁾ óxidos do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997). ⁽⁴⁾ Fe_d = ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato; Ct = caulinita; Gb = gibbsita (Mehra & Jackson, 1960). ⁽⁵⁾ Ki = relação molar SiO₂/Al₂O₃; Kr = relação molar SiO₂/SiO₂+Al₂O₃

* Fonte: Giarola (1994)

Como adubo orgânico foi utilizado o esterco de curral curtido, seco a 65°C e moído em peneira de 1 mm², aplicando-se dose equivalente a 32 Mg ha⁻¹ (10% do volume do vaso) nos tratamentos de adubação puramente orgânica. A análise química do esterco usado encontra-se na Tabela 3, realizada conforme Tedesco et al. (1995).

TABELA 2. Composição química e física do NEOSSOLO LITÓLICO (controle) sob condição natural, antes da incubação.

Atributos Químicos			
pH ¹	5,3	t ¹ (cmolc dm ⁻³)	2,1
P ¹ (mg dm ⁻³)	4,9	T ¹ (cmolc dm ⁻³)	5,1
K ¹ (mg dm ⁻³)	34	V ¹ (%)	21,4
S ¹ (mg dm ⁻³)	6,6	m ¹ (%)	48
Ca ¹ (cmolc dm ⁻³)	0,8	Zn ¹ (mg dm ⁻³)	2,9
Mg ¹ (cmolc dm ⁻³)	0,2	Fe ¹ (mg dm ⁻³)	37,9
Al ¹ (cmolc dm ⁻³)	1,0	Mn ¹ (mg dm ⁻³)	7,9
H+Al ¹ (cmolc dm ⁻³)	4,0	Cu ¹ (mg dm ⁻³)	0,5
SB ¹ (cmolc dm ⁻³)	1,1	B ¹ (mg dm ⁻³)	0,2
P-rem ² (mg L ⁻¹)	32		
Atributos Físicos			
Areia (dag kg ⁻¹)	57	Argila (dag kg ⁻¹)	8,0
Silte (dag kg ⁻¹)	35	MO ¹ (dag kg ⁻¹)	3,8

⁽¹⁾ pH = pH em água; P = fósforo; K = potássio; S = enxofre; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; T = cap. troca de cátions (CTC) a pH 7; t = CTC efetiva; m = saturação por Al e V = saturação por bases; MO = matéria orgânica (EMBRAPA, 1997). ⁽²⁾ P-rem = P remanescente (Alvarez V. et al., 2000).

TABELA 3. Teores totais de nutrientes presentes no esterco de curral usado para adubação orgânica (média de três repetições).

Macronutrientes	g kg ⁻¹	Micronutrientes	mg kg ⁻¹
N	16,70 (268,87)*	Mn	355,82 (5,73)*
P	2,65 (42,66)	Fe	9802,55 (157,82)
K	10,08 (162,29)	Zn	53,86 (0,87)
Ca	6,96 (112,06)	Cu	19,47 (31,29)
Mg	5,40 (86,94)		
S	2,29 (36,87)		

* Valores entre parênteses representam a quantidade de nutrientes, em mg dm⁻³, aplicada nos tratamentos com adubação puramente orgânica.

O calcário utilizado nos tratamentos que receberam esse corretivo possui as seguintes características: calcário dolomítico calcinado, com 35% de CaO,

14% de MgO e PRNT=100%. A adubação mineral integral constituiu-se de, em mg dm^{-3} : N=150; P=200; K=150; S=40; B=0,5; Cu=0,8 e, Zn=3,00. As doses dos macronutrientes N e K foram parceladas em 50 mg dm^{-3} de cada nutriente no plantio; 50 mg dm^{-3} em cobertura aos 60 dias após plantio e o restante aos 90 dias após plantio, para todos os tratamentos que envolveram tal tipo de adubação. Os tratamentos onde se associaram os dois tipos de adubação – organo-mineral – receberam metade das doses dos tratamentos individuais, ou seja, 16 Mg ha^{-1} de esterco, ou 5,0% do volume do vaso e a metade da dose mineral acima, nos mesmos intervalos de tempo.

Após a aplicação dos tratamentos, um volume de $3,3 \text{ dm}^3$ do material dos solos foi acondicionado em sacos plásticos por um período de incubação de 40 dias, com umidade de 50% do volume total de poros (VTP). Após esse período, o material foi colocado em vasos plásticos, quando se amostrou novamente para análises químicas (Tabela 4). Os tratamentos que receberam somente adubação mineral e aquele pertencente ao grupo controle tiveram vasos preenchidos com $2,6 \text{ dm}^3$ de solo. Os demais vasos foram preenchidos com $2,86 \text{ dm}^3$ e $2,73 \text{ dm}^3$, para os tratamentos com adubação puramente orgânica e para os tratamentos organo-minerais, respectivamente.

As mudas de arnica foram produzidas no Laboratório de Biotecnologia do Departamento de Agricultura (DAG) da UFLA, por meio da técnica de micropropagação. Ao saírem da câmara de crescimento, as mudas foram aclimatadas durante 30 dias em potes plásticos preenchidos com material do NEOSSOLO LITÓLICO (proveniente do campo rupestre), como descrito em Souza (2003). Após esse período de aclimatização, uma única muda foi transplantada, com torrão, para os vasos contendo os tratamentos.

TABELA 4. Composição química do CAMBISSOLO HÁPLICO, após aplicação dos tratamentos (Min. = adubação mineral; Org. = adubação orgânica; Org/min = adubação organo-mineral) e do NEOSSOLO LITÓLICO (controle) e incubação por 40 dias.

Atributo	Tratamentos						Controle
	Com Calagem			Sem Calagem			
	Adubação			Adubação			
	Min.	Org.	Org/min	Min.	Org.	Org/min	
pH ⁴	5,7	6,2	5,9	5,3	5,5	5,3	4,7
P ^{1,4}	22,2	1,3	17,4	67,9	1,2	17,5	7,1
K ^{1,4}	56	100	74	55	112	82	41
Ca ^{2,4}	1,4	1,5	1,3	0,6	1,0	0,8	0,6
Mg ^{2,4}	0,9	1,3	1,0	0,2	0,9	0,4	0,2
S ^{1,4}	36,1	5,1	16,0	30,7	4,4	13,2	5,9
SB ^{2,4}	2,4	3,0	2,5	0,9	2,2	1,3	0,9
Zn ^{1,4}	6,4	2,1	3,3	7,0	2,3	3,6	3,0
Fe ^{1,4}	88,7	126,6	96,2	74,3	104,7	81,5	37,1
Mn ^{1,4}	2,9	6,0	4,6	3,3	6,9	4,7	7,4
Cu ^{1,4}	1,2	0,5	0,7	1,2	0,5	0,8	0,4
B ^{1,4}	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,2
Al ^{2,4}	0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,4	0,9
V ^{3,4}	53,5	66,4	58,9	23,4	50,3	33,3	18,0
m ^{3,4}	4,0	3,3	4,0	36,3	9,5	22,5	50,8
H+Al ^{2,4}	2,1	1,5	1,8	2,9	2,1	2,6	4,0
t ^{2,4}	2,5	3,1	2,6	1,4	2,4	1,7	1,8
T ^{2,4}	4,5	4,5	4,3	3,8	4,3	3,9	4,9
MO ^{3,4}	1,3	1,9	1,6	1,5	2,0	1,8	3,6
P-rem ^{1,5}	34,0	33,4	32,7	32,5	31,4	30,9	34,6
Ca:Mg ⁶	1,55	1,15	1,30	3,00	1,11	2,00	3,00

Valores expressos em: ⁽¹⁾ mg dm⁻³; ⁽²⁾ cmol. dm⁻³; ⁽³⁾ %.

⁽⁴⁾ pH = pH em água; P = fósforo; K = potássio; S = enxofre; Ca = cálcio; Mg = magnésio; B=boro; Mn=manganês; Fe=ferro; Cu=cobre; Al = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; T = cap. troca de cátions (CTC) a pH 7; t = CTC efetiva; m = saturação por Al e V = saturação por bases; MO = matéria orgânica (EMBRAPA, 1997). ⁽⁵⁾ P-rem = P remanescente (Alvarez V. et al., 2000). ⁽⁶⁾ relação equivalente entre Ca e Mg

3.2 Condução e análise do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, por um período de 150 dias após o transplante das mudas. A umidade no solo foi mantida em 50% do VTP, por meio de irrigações periódicas com água deionizada.

Durante o período experimental, foram tomadas medidas das alturas inicial e final das plantas de cada parcela, com intuito de estimar o seu crescimento relativo (CR); através da equação:

$$CR (\%) = \frac{\textit{Altura final} - \textit{Altura inicial}}{\textit{Altura inicial}} \times 100$$

A colheita foi realizada aos 150 dias após transplântio, quando o solo foi novamente amostrado para análise química. Em quatro, das dez repetições de cada tratamento, determinou-se a massa fresca da parte aérea não lignificada (MFPA) de cada planta. A MFPA foi definida como toda a parte aérea descartando-se a parte já lignificada do caule. Em seguida, a MFPA de cada parcela foi seca em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65-70°C, para obtenção da massa seca de parte aérea (MSPA). Após, a MSPA foi moída em moinho do tipo Willey e analisada para os teores dos nutrientes e Al, sendo este último determinado através do método de colorimetria do aluminon (Malavolta et al., 1997). As raízes foram retiradas através do destorroamento e peneirado do solo seco. Na seqüência, determinou-se a massa seca de raízes (MSR), tal como para MSPA.

A parte aérea fresca e não lignificada das seis repetições restantes, em cada tratamento, foi utilizada para extração dos compostos voláteis. A técnica utilizada foi a hidrodestilação por 1,5 hora, em aparelho de Clevenger modificado. Cerca de 120 mL de hidrolato, recolhidos de cada hidrodestilação,

foram submetidos à extração do óleo com 3 porções de 25 mL do solvente diclorometano, em funil de separação. Os extratos orgânicos provenientes de cada extração tiveram o restante da água retirados com o auxílio de sulfato de magnésio anidro. O sal foi retirado por filtração simples e o solvente eliminado em evaporador rotativo. Os produtos obtidos dessa evaporação foram transferidos para frascos de vidro de 5 mL, onde permaneceram até completa evaporação do solvente restante, sendo então o teor de óleo essencial determinado através de diferença de pesagem dos frascos (Cardoso et al., 2000).

Todas as variáveis estudadas foram submetidas a análises de variância e os tratamentos comparados pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância. Para comparação dos efeitos do tratamento adicional foram efetuados contrastes de médias envolvendo este tratamento *versus* todos os outros tratamentos individualmente. Essas análises foram efetuadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR[®], desenvolvido pelo Departamento de Ciência Exatas da Universidade Federal de Lavras. Adicionalmente, foram aplicadas análises de correlações lineares simples das variáveis de crescimento e produção de óleo essencial com os parâmetros de fertilidade nos solos e elementos no tecido vegetal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Crescimento das mudas de arnica

Os tratamentos influenciaram significativamente todas as variáveis de crescimento das mudas de arnica. De acordo com a análise de variância, as produções de MFPA, MSPA, MSR e CR foram influenciadas pelas adubações e pela interação entre calagem e adubação. A calagem, por sua vez, influenciou somente a produção de MSPA. Houve diferença entre o tratamento controle e os demais tratamentos, à exceção da MFPA e CR (Tabela 1A).

Na Tabela 5 observa-se que os valores para a MFPA nos tratamentos de adubação mineral, organo-mineral e orgânico decresceram significativamente nesta ordem, tanto na presença quanto na ausência de calagem. Provavelmente, esse efeito foi devido a uma pronta disponibilidade de nutrientes, fornecidos via adubos minerais nestes tratamentos.

Apesar da análise de variância não indicar influência da calagem na MFPA o desdobramento da calagem dentro das adubações mostra que, para o tratamento de adubação puramente orgânica, a aplicação do calcário promoveu maior produção de MFPA. Provavelmente, a elevação do pH (Tabela 4), aumentando a atividade microbiológica, mineralização e disponibilidade dos nutrientes (Moreira & Siqueira, 2002), foi a causa desse efeito, uma vez que não houve correlações significativas entre os teores de Ca e Mg do solo com esta variável (Tabela 6).

Da mesma forma explicam-se os resultados observados para a MSPA (Tabela 5), para os tratamentos envolvendo a adubação orgânica e organo-mineral, na presença e ausência de calagem. As adubações fizeram com que a MSPA, tal como a MFPA, fosse alterada de acordo com estas práticas, ou seja, os valores decresceram na ordem mineral, organo-mineral e orgânica, seguindo também a maior disponibilidade de nutrientes.

TABELA 5. Produção de massa fresca e seca da parte aérea não lignificada, massa seca de raiz e crescimento relativo das mudas de amica em função da calagem e adubação e no controle.

Adubação	Calagem	
	Com	Sem
Massa fresca de parte aérea (g planta ⁻¹)		
Mineral	25,775 a A	27,845 a A
Orgânico	9,942 c A	5,968 c B
Organo-mineral	20,419 b A	17,474 b A
Controle	18,567	
CV (%)	13,17	
Massa seca de parte aérea (g planta ⁻¹)		
Mineral	7,643 a A	7,913 a A
Orgânico	3,263 c A	1,970 c B
Organo-mineral	6,180 b A	5,280 b B
Controle	6,680	
CV (%)	10,68	
Massa seca de raízes (g planta ⁻¹)		
Mineral	2,313 a B	3,095 a A
Orgânico	1,310 b A	1,143 c A
Organo-mineral	2,387 a A	2,215 b A
Controle	2,915	
CV (%)	14,17	
Crescimento relativo (%)		
Mineral	278,01 a A	311,53 a A
Orgânico	221,31 b A	118,24 b B
Organo-mineral	179,50 b A	180,82 b A
Controle	184,19	
CV (%)	34,22	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, para cada variável, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Também na Tabela 5, são apresentados os resultados da produção de massa seca de raízes (MSR), em função da calagem e adubação. Os tratamentos que envolveram adubação mineral promoveram maiores valores para MSR, tanto

na presença, quanto na ausência da calagem, enquanto que a calagem não influenciou essa variável, à exceção da adubação mineral, onde a calagem reduziu o crescimento radicular. Esses resultados mostram que o crescimento radicular da amica não é influenciado pelas características químicas do solo, como pH ácido e maiores teor e saturação por Al (m%), as quais, de maneira geral, afetam negativamente o crescimento das raízes da grande maioria das plantas de interesse econômico. Esse fato fica evidente pela correlação positiva encontrada para MSR e o índice m% e a acidez potencial (H+Al) (Tabela 6).

TABELA 6. Coeficientes de correlação linear simples entre os parâmetros de fertilidade dos solos e as produções de massas fresca (MSPA) e seca (MSPA) da parte aérea, seca de raiz (MSR) e o crescimento relativo (CR) das mudas de amica.

Parâmetro	MSPA	MSPA	MSR	CR
P	0,8406 **	0,6905 *	0,6858 *	0,8139 *
K	-0,7481 *	-0,9254 **	-0,9301 **	-0,5583 ns
Ca	-0,2288 ns	-0,2904 ns	-0,5929 ns	-0,0585 ns
Mg	-0,4689 ns	-0,5453 ns	-0,7717 *	-0,2508 ns
S	0,8933 **	0,7750 *	0,5301 ns	0,8131 *
B	0,0500 ns	-0,1066 ns	-0,2958 ns	-0,1659 ns
Cu	0,8661 **	0,6851 *	0,4639 ns	0,8101 *
Zn	0,9131 **	0,8075 **	0,6452 ns	0,8668 **
Fe	-0,4018 ns	-0,6173 *	-0,8406 **	-0,1210 ns
Mn	-0,8456 **	-0,6496 ns	-0,3942 ns	-0,7565 *
SB	-0,4138 ns	-0,4879 ns	-0,7356 *	-0,2148 ns
V%	-0,3737 ns	-0,4828 ns	-0,7296 *	-0,2071 ns
Al	0,1367 ns	0,3494 ns	0,6316 ns	0,0365 ns
m%	0,2479 ns	0,4193 ns	0,6965 *	0,1651 ns
H+Al	0,2411 ns	0,4532 ns	0,6937 *	0,0791 ns
t	-0,5151 ns	-0,5134 ns	-0,7219 *	0,2845 ns
T	-0,3919 ns	-0,0867 ns	-0,1075 ns	-0,3019 ns
Ca:Mg	0,5393 ns	0,6594 ns	0,8548 *	0,4607 ns
pH	-0,1726 ns	-0,3485 ns	-0,5966 ns	0,0540 ns

** , * e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

Interessante destacar a correlação inversa entre MSR e os teores de Mg disponíveis no solo. Sabe-se que o Ca é um elemento com função chave na proteção das raízes contra os efeitos negativos do estresse causado por baixo pH (Marschner, 1995), pois é responsável pela estabilidade das membranas e parede celular (Faquin, 2001). Provavelmente, uma inibição da absorção de Ca, causada por uma maior disponibilidade de Mg (Mills & Jones, 1994), foi a causa dessa correlação inversa, fato este corroborado pela correlação positiva encontrada entre MSR e relação Ca:Mg (Tabela 6).

Considerando as variáveis MFPA, MSPA e MSR (Tabela 5), o tratamento com adubação orgânica foi o que promoveu o menor crescimento da amica, tanto na presença quanto na ausência da calagem. Observa-se na Tabela 4 que os teores de P para esse tratamento foram muito baixos e, certamente, o nutriente que limitou crescimento da amica, quando a mesma recebeu adubação totalmente orgânica. A Tabela 3 mostra que o esterco de curral utilizado na adubação orgânica é pobre em P (2,65 g kg⁻¹ de P) e que a dose do adubo usada nesse tratamento (42,66 mg dm⁻³ de P) forneceu uma quantidade insuficiente do nutriente. Digno de destaque, também, é o baixo teor de S no solo dos tratamentos com adubação unicamente orgânica (Tabela 4). Tal como o P, o S pode ter contribuído para o menor crescimento das plantas. Esses fatos são corroborados pelos valores de correlação encontrados entre os teores dos nutrientes no solo e as variáveis de crescimento. Adiante, quando da análise dos teores e acumulação dos nutrientes pela parte aérea das plantas, também confirmar-se-ão esses resultados. Assim, nas doses de esterco de curral usadas, a complementação com nutrientes na forma mineral é essencial, quando se visa a um crescimento adequado das plantas, tal como sugerido em Furtini Neto & Tokura (2000). O tratamento organo-mineral comprova esse fato, embora a dose de adubo mineral ainda tenha sido insuficiente.

O tratamento controle, onde as plantas cresceram em material de solo obtido em seu habitat natural, sem nenhuma aplicação de adubos ou corretivo, promoveu um crescimento da arnica sempre superior ao tratamento com adubação puramente orgânica e próximo daqueles obtidos com adubação mineral e organo-mineral (Tabela 5), sendo em alguns casos significativamente superiores e em outros inferiores (Tabela 7). Considerando-se a composição química do solo controle (Tabela 4), conclui-se que a arnica é uma espécie adaptada a altos teores e saturações por Al e que, para sua exploração comercial, visando a um maior crescimento, estudos mais detalhados de nutrição mineral são necessários. Esses dados e aqueles observados para o crescimento da parte aérea e raiz (Tabela 5) permitem concluir que a calagem é dispensável para o crescimento dessa espécie.

TABELA 7. Estimativas dos contrastes de médias para as produções de massas fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, seca de raiz (MSR) e para o crescimento relativo (CR) entre o controle e os tratamentos (+Cal=com calagem, -Cal=sem calagem, min=mineral, org=orgânico, org-min=organo-mineral).

Contrastes	Variáveis			
	MFPA	MSPA	MSR	CR
 Quadrados Médios			
Controle x +Cal/min	-103,910 **	-1,1,853 *	1,125 ns	-44010,962 **
Controle x +Cal/org	148,807 **	23,358 **	6,125 **	6887,987 ns
Controle x +Cal/org-min	-6,856 ns	0,500 ns	1,125 ns	-110,074 ns
Controle x -Cal/min	-172,171 **	-3,038 **	-0,000 ns	-81072,284 **
Controle x -Cal/org	317,457 **	44,368 **	6,125 **	21746,353 *
Controle x -Cal/org-min	2,391 ns	3,920 **	1,125 ns	56,851 ns

** , * e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de Sheffê. Contrastes precedidos de sinal negativo são aqueles onde o valor absoluto do controle foi menor que o do tratamento contrastado.

Esses resultados estão de acordo com o exposto em Goodland & Ferri (1979), sobre o crescimento das plantas nativas do cerrado. Eles afirmam que a

tolerância dessas plantas às condições adversas, notadamente o xeromorfismo, está intimamente relacionada a uma alta saturação por Al (m%); ou seja, aumenta com os níveis de m% dos solos. Assim, o xeromorfismo cresce da fisionomia do cerradão para a dos campos, onde a vegetação se torna mais esparsa e adaptada à falta de água

Para o CR, os tratamentos com adubação mineral, tanto com, quanto sem calagem, tal como observado para MFPA e MSPA, superaram os demais (Tabela 5). As doses de fertilizantes minerais adicionadas ao solo, prontamente disponíveis às plantas, provavelmente, foram suficientes para alavancar o crescimento das mudas de arnica, culminando num maior CR. Novamente aqui, apesar de não apresentar respostas à calagem, análises de desdobramento desta fonte de variação dentro das adubações revelaram que, para os tratamentos com adubação totalmente orgânica, aquele que recebeu aplicação de corretivo superou seu homólogo. Nesse tratamento, o aumento de pH, com conseqüente mineralização do esterco orgânico, disponibilizando nutrientes (Moreira & Siqueira, 2002), pode ter proporcionado esse maior desenvolvimento.

4.2 Teor e acúmulo de nutrientes e alumínio na parte aérea das mudas de arnica

A Tabela 8 mostra que, de maneira geral, os teores dos nutrientes na parte aérea da arnica não sofreram grandes variações com a aplicação das adubações e da calagem. Não se encontrou na literatura um referencial nutricional para essa espécie de arnica para comparações. Usando-se para comparações os valores médios citados por Mills & Jones (1994) para a maioria das plantas, observa-se que, de maneira geral, os nutrientes N, P e K mantiveram-se abaixo, enquanto que o Ca, Mg e S situaram-se dentro daqueles limites estabelecidos por esses autores.

Para os micronutrientes analisados, à exceção do Cu que se manteve dentro dos limites, os demais se apresentaram com teores acima dos médios citados pelos autores, indicando maior exigência da amica nesses micronutrientes. Nesse caso, destacam-se o Zn e o Mn. Sabe-se que a elevação do pH do solo pela calagem reduz a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Vale et al., 1993); e essa, certamente, foi a causa dos menores teores de Zn e Mn observados nas plantas submetidas ao tratamento de calagem, independente dos tratamentos de adubação.

TABELA 8. Teores de nutrientes e alumínio na massa seca da parte aérea não lignificada das mudas de amica, aos 150 dias de cultivo, em função da calagem e adubação (Min=adubação mineral; Org=adubação orgânica; Org/min=adubação organo-mineral) e no controle.

Elemento	Tratamentos						Controle
	Com Calagem			Sem Calagem			
	Adubação			Adubação			
Min	Org	Org/min	Min	Org	Org/min		
N ¹	13,43	9,13	12,98	16,83	7,95	11,48	9,73
P ¹	1,42	0,75	1,43	1,31	0,96	1,48	0,57
K ¹	8,77	9,64	9,64	10,52	10,74	11,18	6,79
Ca ¹	8,48	6,44	6,87	6,50	7,30	5,28	8,93
Mg ¹	4,52	4,58	4,59	2,69	5,63	4,31	3,53
S ¹	3,12	1,52	2,50	2,39	1,51	1,84	1,35
Cu ²	6,51	8,80	8,34	6,85	9,56	10,66	7,46
Fe ²	180,20	191,1	222,66	156,12	138,46	212,40	151,89
Zn ²	167,06	81,54	89,93	452,24	94,60	155,79	221,92
Mn ²	105,88	80,85	68,75	489,23	207,08	304,84	972,13
Al ²	65,84	71,80	78,47	71,17	58,63	91,55	56,49

Valores expressos em: ⁽¹⁾ g kg⁻¹ e ⁽²⁾ mg kg⁻¹.

Digno de destaque são os menores teores de P e S observados na parte aérea da amica, nos tratamentos essencialmente orgânicos (Tabela 8). Provavelmente, a baixa concentração desses nutrientes no esterco de curral (Tabela 3), nas doses utilizadas, foi a causa do menor crescimento das plantas

nesses tratamentos (Tabela 5). Com relação ao controle, comparando-se com os tratamentos, observam-se menores teores de P, S e maior de Zn e, principalmente, de Mn.

Ainda na Tabela 8, observa-se que os teores de Al também não sofreram grandes variações em função dos tratamentos, à exceção do tratamento exclusivamente orgânico sem calagem. Neste tratamento, à semelhança do controle, o menor teor de Al se deve a sua indisponibilização através de complexação do Al do solo com a matéria orgânica (Canellas et al., 1999), não totalmente decomposta, devido ao pH mais baixo.

Todavia, embora tenham sido detectadas algumas variações nos teores dos nutrientes em função dos tratamentos, não foi observado, durante o período experimental, nenhum sintoma típico de deficiência ou toxidez, inclusive para o Al.

A amica, pela classificação de Goodland & Ferri (1979), se enquadra no grupo das plantas tolerantes e não acumuladoras de Al, uma vez que os teores deste elemento situaram-se entre 20 e 200 mg kg⁻¹ de Al, base peso seco. Os mecanismos que lhe conferem tal tolerância, segundo Mengel & Kirky (2001), são de ordem genética; estando de acordo com o afirmado por Goodland & Ferri (1979) a respeito de sua adaptação.

Como referencial nutricional mais próximo das condições naturais propõe-se o tratamento com adubação organo-mineral, sem calagem, uma vez que este tratamento teve um desempenho igual ao controle, tanto em crescimento (Tabela 7), quanto em produção de óleo, como será visto adiante. Os teores do tratamento controle, apesar de simularem as condições naturais de crescimento da amica, não devem ser tidos como um referencial de cultivo, uma vez que os campos rupestres, pelas suas condições intrínsecas são considerados como áreas de preservação ambiental (Zanzini & Oliveira, 1999).

O acúmulo de determinado nutriente pela planta depende do seu teor no tecido e, principalmente, da produção de massa seca. Na Tabela 9 são apresentados os acúmulos de alumínio e de macro e micronutrientes na parte aérea da amica. Observa-se que, tal como destacado, o acúmulo dos elementos seguiu rigorosamente a tendência observada para a massa seca (Tabela 5). Assim, decresceu na ordem de adubação mineral, organo-mineral e orgânica. Nesse último tratamento, destaca-se a baixa acumulação de P e S, reflexo dos baixos crescimento (Tabela 5) e teores (Tabela 8) nas plantas. Como já discutido no item referente à produção de massa seca, os baixos teores de P e S nos solos com adubação orgânica (Tabela 4), provavelmente, foram os fatores limitantes ao crescimento da amica submetida a esse tratamento.

TABELA 9. Acúmulo de nutrientes e alumínio (mg planta⁻¹) na massa seca da parte aérea não lignificada das mudas de amica, aos 150 dias de cultivo, em função da calagem e adubação (Min=adubação mineral; Org=adubação orgânica; Org/min=adubação organo-mineral) e no controle.

Elemento	Tratamentos						Controle
	Com Calagem			Sem Calagem			
	Adubação			Adubação			
Min	Org	Org/min	Min	Org	Org/min		
N	102,17	29,95	80,26	132,93	15,66	61,81	65,09
P	10,78	2,42	8,80	10,29	1,89	7,76	3,76
K	66,99	31,45	59,77	83,76	21,08	59,68	45,19
Ca	64,82	20,62	42,41	51,24	14,38	27,45	59,69
Mg	34,43	14,82	28,33	21,29	11,09	22,39	23,51
S	23,90	4,97	15,44	18,91	2,93	9,61	9,00
Cu	0,05	0,03	0,05	0,05	0,02	0,05	0,05
Fe	1,38	0,62	1,38	1,22	0,27	1,10	1,03
Zn	1,27	0,27	0,55	3,57	0,19	0,81	1,51
Mn	0,81	0,26	0,43	3,85	0,41	1,64	6,45
Al	0,50	0,23	0,48	0,56	0,12	0,48	0,38

Destaca-se ainda, no tratamento orgânico, além do P e do S, que o acúmulo dos demais nutrientes, em valores numéricos, sempre foram menores que aqueles observados para os outros tratamentos, inclusive do controle. Esse fato confirma a observação feita anteriormente, onde, nas doses de esterco de curral usadas, a complementação com nutrientes na forma mineral é essencial para a nutrição adequada da planta.

4.3 Teor e rendimento de óleo essencial nas mudas de arnica

Tanto os teores, quanto a produção de óleo essencial por planta (rendimento), foram influenciados pela calagem, pela adubação e pela interação entre calagem e adubação. Houve ainda diferença entre o controle e os tratamentos (Tabela 2A).

Observa-se na Tabela 10 que os tratamentos de adubação mineral e organo-mineral com calagem e mineral sem calagem foram os que apresentaram menores teores de óleo na massa fresca da planta. Como visto, esses tratamentos foram aqueles que promoveram maiores produções de massa fresca e seca (Tabela 5) da parte aérea. Assim, o menor teor de óleo nas plantas desses tratamentos foi devido a um efeito de diluição. Digno de destaque é o tratamento organo-mineral sem calagem. Embora o mesmo tenha apresentado uma produção de massa fresca e seca bem superior aos tratamentos com adubação orgânica (Tabela 5), o seu teor de óleo não foi diluído por esse crescimento, igualando-se, por contraste de médias, ao tratamento controle (Tabela 11), que numericamente superou todos os tratamentos.

TABELA 10. Teor e rendimento de óleo essencial na massa fresca da parte aérea não lignificada das mudas de amica, em função da calagem e adubação e no controle.

Adubação	Calagem	
	Com	Sem
Teor de óleo essencial (%)		
Mineral	0,0217 b A	0,0268 b A
Orgânico	0,0419 a A	0,0384 a A
Organo-mineral	0,0255 b B	0,0437 a A
Controle	0,0467	
CV (%)	20,64	
Rendimento de óleo essencial (mg planta ⁻¹)		
Mineral	6,167 a B	8,650 a A
Orgânico	5,133 a A	3,300 b B
Organo-mineral	5,898 a B	9,400 a A
Controle	8,478	
CV (%)	22,04	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, para cada variável, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%)

TABELA 11. Estimativas dos contrastes para os teores e rendimento de óleo entre o controle e os tratamentos (+Cal=com calagem, -Cal=sem calagem, min=mineral, org=orgânico, org-min=organo-mineral).

Contrastes	Variáveis	
	Teor	Rendimento
 Quadrado Médio	
Controle x +Cal/min	0,00187 **	0,00002 *
Controle x +Cal/org	0,00007 ns	0,00004 **
Controle x +Cal/org-min	0,00135 **	0,00002 *
Controle x -Cal/min	0,00119 **	-0,00000 ns
Controle x -Cal/org	0,00021 ns	0,00009 **
Controle x -Cal/org-min	0,00003 ns	-0,00001 ns

** , * e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de Sheffê. Contrastes precedidos de sinal negativo são aqueles onde o valor absoluto do controle foi menor que o do tratamento contrastado.

Análises adicionais de correlação revelaram algumas situações interessantes. Uma correlação positiva para os teores de Cu e os teores de óleo na parte aérea foi encontrada. Houve ainda uma correlação inversa entre os teores de N e S no tecido vegetal com os teores de óleo na MFPA (Tabela 12). Para o acúmulo de nutrientes na parte aérea e os teores de óleo foram encontradas correlações inversas para N, P e S (Tabela 13). Contudo, observando essas correlações, independente da significância, pode-se observar que, de modo geral, elas representam relações inversas. Assim, quanto maior o teor de nutrientes na parte aérea, menores os teores de óleo essencial. Isto está de acordo com diversos autores (Santos, 2002, Pinto & Lameira, 2001 e Rodrigues & Carvalho, 2001) que afirmam que estresses nutricionais podem induzir as plantas a uma maior produção de óleo essencial.

TABELA 12. Coeficientes de correlação linear simples entre o teor dos elementos e o teor e rendimento de óleo essencial, na parte aérea das mudas de amica.

Elementos	Teor	Rendimento
N	-0,7239 *	0,4938 ns
P	-0,6665 ns	0,1826 ns
K	-0,1331 ns	-0,1618 ns
Ca	-0,1238 ns	-0,1503 ns
Mg	0,0889 ns	-0,8003 *
S	-0,9325 **	0,0456 ns
Cu	0,7490 *	0,3593 ns
Zn	-0,2420 ns	0,6132 ns
Fe	-0,1690 ns	0,1711 ns
Mn	0,4753 ns	0,6174 ns
Al	-0,0439 ns	0,3945 ns

** , * e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

TABELA 13. Coeficientes de correlação linear simples entre o acúmulo dos elementos e o teor e rendimento de óleo essencial, na parte aérea das mudas de amica.

Elementos	Teor	Rendimento
N	-0,6713 *	0,5764 ns
P	-0,7700 *	0,4563 ns
K	-0,6118 ns	0,6618 ns
Ca	-0,4579 ns	0,4929 ns
Mg	-0,6029 ns	0,3729 ns
S	-0,8335 *	0,3278 ns
Cu	-0,2980 ns	0,8466 **
Zn	-0,3407 ns	0,6115 ns
Fe	-0,5764 ns	0,6013 ns
Mn	0,3348 ns	0,6922 *
Al	-0,5215 ns	0,7334 *

**, * e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

O rendimento de óleo essencial é também função do seu teor no tecido e da produção de material vegetal. Assim como os tratamentos de adubação e calagem influenciaram significativamente a produção de massa fresca e seca das plantas, os teores de óleo também foram influenciados, por efeito de diluição, em igual proporção, em praticamente todos os tratamentos. Com isso, poucas diferenças foram observadas entre os tratamentos de adubação (Tabela 10), à exceção da adubação orgânica sem calagem, que foi inferior aos demais. Já a calagem reduziu o rendimento de óleo nos tratamentos de adubação mineral e organo-mineral. O tratamento controle, visto seu comportamento favorável em crescimento e em teor de óleo, apresentou um rendimento igual aos tratamentos com adubação mineral e organo-mineral sem calagem, que foram iguais entre si e superiores aos demais (Tabela 11).

Análises de correlação sugerem que a quantidade de princípios ativos produzidos na parte aérea da amica está ligada, principalmente, com os índices de acidez dos solos. Na tabela 14 verificam-se relações diretas entre a saturação

por Al (m%), Al trocável e acidez potencial (H+Al), com os valores de rendimento de óleo. Observam-se, ainda, correlações inversas entre o rendimento de óleo com os teores de Mg na planta (Tabela 12) e no solo, além do índice saturação por bases (V%) (Tabela 14).

TABELA 14. Coeficientes de correlação linear simples entre os parâmetros de fertilidade dos solos e o teor e rendimento de óleo essencial na parte aérea das mudas de amica.

Parâmetro	Teor	Rendimento
pH	-0,3796 ns	-0,6283 ns
P	-0,5509 ns	0,4992 ns
K	0,2495 ns	-0,7042 *
Ca	-0,3443 ns	-0,6669 ns
Mg	-0,1935 ns	-0,8212 *
S	-0,8351 *	0,2683 ns
Zn	-0,7124 *	0,4097 ns
Fe	-0,1815 ns	-0,7266 *
Mn	0,8130 *	-0,2517 ns
Cu	-0,7730 *	0,2995 ns
B	-0,6880 *	-0,5903 ns
Al	0,5055 ns	0,6965 *
SB	-0,2446 ns	-0,8017 *
t	-0,0927 ns	-0,7827 *
T	-0,2472 ns	0,2819 ns
V	-0,2861 ns	-0,7830 *
m%	0,4083 ns	0,7346 *
H+Al	0,3736 ns	0,6976 *
Ca:Mg	0,1443 ns	0,8279 *

** , * e ns, significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

A aplicação de calcário dolomítico, além de diminuir a solubilidade de Al, aumenta a disponibilidade Mg, com conseqüente aumento da V% e diminuição do valor de m%. O aumento da V%, estaria ligado a uma diminuição do estresse nutricional, desfavorecendo a produção de óleo essencial, conforme exposto em Santos (2002), Pinto & Lameira (2001) e Rodrigues & Carvalho (2001).

Santos (2002) afirma que uma das funções ecológicas dos óleos essenciais é a proteção contra perda d'água. Admitindo que esta seja uma das funções do óleo da arnica, explica-se o fato do rendimento de óleo se correlacionar positivamente com o Al do solo (Al trocável, H+Al e, principalmente, m%) (Tabela 14), uma vez que o xeromorfismo é função da saturação por Al dos solos (Goodland & Ferri, 1979). Corroborando com isso apresenta-se a correlação positiva do rendimento de óleo com o Al acumulado na parte aérea (Tabela 13).

Provavelmente, a complexação do Al pela matéria orgânica adicionada (Andrade et al., 2002) na forma de esterco de curral aos tratamentos exclusivamente orgânicos, explica por que, na ausência de calcário, o rendimento foi menor; uma vez que essa variável se correlacionou com o índice m% , Al trocável e H+Al.

Durante a biossíntese dos óleos essenciais há a formação de uma molécula intermediária, o isopentenilpirofosfato, (Cardoso et al., 2001 e Santos, 2002), utilizando, portanto, uma molécula de pirofosfato inorgânico (PPi). Segundo Marschner (1995), a presença de Mg é essencial para a formação do substrato (Mg-PPi) hidrolisado pela enzima pirofosfatase, durante o processo de bombeamento de prótons (H^+) do citoplasma para o vacúolo das células vegetais. Provavelmente, quanto maior a presença de Mg na célula maior será a quantidade de substrato – Mg-PPi – formada. Nesse sentido, a formação desse substrato levaria a uma indisponibilização de PPi, desfavorecendo, portanto, a formação de óleo essencial. Assim, explica-se o motivo da relação inversa entre os teores de Mg no solo (Tabela 14) e na planta (Tabela 12) com o rendimento de óleo essencial.

Da mesma forma, explica-se o porquê das correlações positivas entre o Al (trocável, m% e H+Al) do solo e o rendimento de óleo essencial, pois a

presença de Al pode inibir, por competição, a absorção de Mg pelas plantas (Marschner, 1995).

Uma maneira de minorar os efeitos negativos causados pelo Mg poderia ser a manutenção de uma relação (equivalente) entre Ca e Mg mais alta no solo. Análises de correlação entre o rendimento de óleo e os valores da relação Ca:Mg no solo (Tabela 14) sugerem uma relação direta entre esses fatores. Assim, verifica-se que foram nas relações da ordem de 2:1 a 3:1 que houve os maiores rendimentos de óleo, inclusive no tratamento controle.

Analisando de forma generalizada os dados apresentados neste tópico pode-se inferir que a qualidade fitoterapêutica da amica está intimamente relacionada com a sua nutrição e, conseqüentemente, com a fertilidade do solo. A calagem atuou de forma negativa na produção de óleo essencial. Portanto, essa prática, nas condições deste trabalho, se mostrou inadequada. Para as adubações, deve-se destacar aquele tratamento em que se aplicou uma adubação mista, na ausência de calagem. Esse tratamento aliou alto teor, com alto rendimento de óleo, igualando-se de forma significativa ao tratamento controle (Tabela 11), ou seja, o mais próximo das condições naturais da amica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme proferido por Corrêa Júnior (1994) – *plantas medicinais, se não preservar agora, depois não haverá remédio* – é imperativo que se tomem providências quanto ao uso racional desses recursos naturais.

Os resultados gerados neste trabalho básico permitem propor que estudos futuros, visando à produção comercial da arnica, visem as relações dessa espécie com os atributos da acidez do solo. Nesse sentido, destacam-se o Al trocável, a saturação no solo, e a acidez potencial. Outros pontos interessantes foram observados acerca da influência negativa do Mg para as variáveis analisadas. Estes resultados, sugerem o estabelecimento de uma relação Ca:Mg adequada para o crescimento e produção de óleo. Poder-se-ia, ademais, estabelecer níveis críticos, destes e outros elementos, tanto em solo, quanto em solução nutritiva, visando a uma produção sustentada para esta espécie medicinal.

6 CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi conduzido, pode-se concluir que para a arnica a aplicação de calcário não é uma prática recomendável, pois, além de não influenciar as variáveis de crescimento, atou negativamente sobre o teor e rendimento de óleo essencial na parte aérea das mudas.

Para as adubações, as variáveis de crescimento das mudas de arnica decresceram na seguinte ordem: mineral > organo-mineral > orgânica. Contudo, de modo geral, nos tratamentos com adubação mineral, o teor e o rendimento de óleo decresceram. Para o rendimento de óleo, o tratamento orgânico sem calagem apresentou o menor valor.

Dentre todos os tratamentos, o que mais se destacou quanto à produção e teor de óleo essencial foi aquele com adubação organo-mineral na ausência de calagem. Este tratamento aliou alto rendimento com alto teor de óleo, além de crescimento satisfatório da muda.

A arnica não é uma planta exigente em fertilidade do solo, notadamente em macronutrientes. Com relação aos micronutrientes, é uma planta particularmente exigente, à exceção do Cu. Além disso, a arnica é uma planta tolerante ao Al do solo, embora não acumuladora.

Dada a falta de parâmetros para espécies desse gênero, os teores de nutrientes apresentados para o tratamento organo-mineral sem calagem podem ser considerados como um referencial em condições de cultivo, dado o bom desempenho deste tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. de; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. de; Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2000.
- ANDRADE, A. T.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Organic residue, limestone, gypsum, and phosphorus adsorption by lowland soils. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 349-355, abr./jun. 2002.
- ARRIGONI-BLANK, M. de F.; FAQUIN, V.; PINTO, J. E. B. P.; BLANK, A. F. LAMEIRA, O. A. Adubação química e calagem em erva-baleeira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 3, p. 211-215, nov. 1999.
- BORSATO, M. L. C.; GRAEL, C. F. F.; SOUZA, G. E. P.; LOPES, N. P. Analgesic activity of the lignans from *Lychnophora ericoides*. **Phytochemistry**, Oxford, v. 55, n. 7, p. 809-813, Dec. 2000.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.
- CARDOSO, M. das G.; GAVILANES, M. L.; MARQUES, M. C. S.; SHAN, A. Y. K. V.; et al. Óleos essenciais. **Boletim técnico – Série Extensão**, Lavras, v. 8, n. 58, p. 1-42, 2000.
- CARDOSO, M. das G.; SHAN, A. Y. K. V.; PINTO, J. E. B. P.; FILHO, N. D.; BERTOLUCCI, S. K. V. **Metabólitos secundários vegetais: visão geral química e medicinal**. Lavras: UFLA, 2001. 81 p. (Texto Acadêmico)
- CARVALHO, D. A. Flora fanerogâmica de campos rupestres da Serra da Bocaina, Minas Gerais: caracterização e lista de espécies. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 97-122, jan./mar. 1992.
- CAVARIANNI, R. L.; MAY, A.; CECÍLIO FILHO, A. B. Produção de rizomas de cúrcuma em função da adubação nitrogenada e potássica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, jul. 2000. Suplemento. CD-ROM.
- CHAVES, F. M. C.; FACANALI, R.; ANTUNES, J. A.; et al. Produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e teor de timol em alecrim-pimenta, em

função da adubação orgânica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 310, jul. 2002a. Suplemento 2.

CHAVES, F. M. C.; MING, L. C.; CARVALHO, E. A. V.; FERNANDES, D. M.; MARQUES, M. O. M.; MEIRELES, M. A. M. Produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e teor de eugenol em alfavaca cravo, em função de adubação orgânica e sazonalidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 360, jul. 2002b. Suplemento 2.

CHOUDHURY, S. N.; BORDOLOI, D. N. Influence of liming on nutrient uptake and yield of palmarosa (*Cymbopogon martini* var. *motia*). **Indian Journal of Agronomy**, New York, v. 38, n. 4. p. 618-621, Dec. 1993.

CORRÊA JÚNIOR, C. Influência das adubações orgânica e química na produção de camomila [*Chamomilla recutita* (L.) Raucschert] e do seu óleo essencial. 1994. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticaba, SP.

CORRÊA JÚNIOR, C.; MING, L. C.; SCHEFFER, M. C. Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas. Curitiba: EMATER, 1991. 151 p.

COSTA, M. P. Desenvolvimento e teor de alcalóides em plantas de ipeca (*Cephaelis ipecacuanha*, A. Richard.) obtidas *in vitro* submetidas às condições nutricionais em casa de vegetação. 1995. 61p. Dissertação (Mestrado em fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ELIZABETSKY, E. Pesquisa em plantas medicinais. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 39, n. 8, p. 697-702, ago. 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 182 p. (Texto Acadêmico).

- FERNANDES, D. M.; MIAZAKI, S. S.; BÔAS, R. L. V.; BULL, L. T. Produção de pseudo-bulbo de funcho doce, em função de calagem e adubação com esterco de curral sob ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 2, p. 365, jul. 2002. Suplemento 2.
- FURTINI NETO, A. E.; TOKURA, A. M. Fertilidade e adubação de plantas medicinais. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 85 p. (Texto Acadêmico).
- GARCIA, M. C. S. B. Biomassa e mucilagem da tanchagem (*Plantago major* L.), em função das adubações orgânica, mineral e mista e da supressão das inflorescências. In: *Plantas medicinais aromáticas e condimentares: avanços na pesquisa agrônômica*. Botucatu: UNESP, 1998. v. 2, p. 139-154.
- GIAROLA, N. F. B. Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG). 1994. 235 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.
- GOODLAND, R. J. A.; FERRI, M. G. Ecologia do cerrado. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. 193 p. (Reconquista do Brasil, v. 52).
- KELTJENS, W. G. Plant adaptation and tolerance to acid soils: its possible Al-avoidance – A review. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; ECHAFFERT, R. E.; FAGERIA, N. K.; ROSOLEM, C. A.; CANTARELLA, H. (Ed.). *Plant-soli interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Proceedings...* Belo Horizonte, 1996. Campinas/Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 109-107.
- MADUEÑO BOX, M. Cultivo de plantas medicinales. Madri: Labor, 1973. 490 p.
- MAIA, M.B. Produção e qualidade do óleo essencial de duas espécies de menta cultivadas em soluções nutritivas. 1998. 105p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 210 p.
- MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of higher plants. Londres: Academic Press, 1995. 889 p.

- MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. *Plantas medicinais*. Viçosa: UFV, 1994. 220 p.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, N. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, Clarkson, v. 3, n. 6, p. 317-327, Dec. 1960.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. *Principles of plant nutrition*. 5. ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- MILLS, H. A.; JONES, J. J. B. *Plant analysis handbook II*. Athens: Micromacro publishing, 1994. 422 p.
- MING, L. C. *Influência de diferentes níveis de adubação orgânica na produção de biomassa e teor de óleos essenciais de Lippia Alba (Mill.) N. E. Br. – Verbenaceae*. 1992. 206 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MING, L. C. *Produção de biomassa e teor de óleo essencial em função de fases de desenvolvimento, calagem e adubações mineral e orgânica em Ageratum conyzoides L.* 1996. 65 p. Tese (Doutorado em produção vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticaba, SP.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 625 p.
- OLIVEIRA, A. B.; ANJOS, A. M. G.; DUARTE, D. S. et al. Atividade *in vitro* de espécies da família compositae contra formas sanguíneas do *Trypanosoma cruzi*. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 12., 1992, Curitiba. Anais... Curitiba, 1992. p. 194.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN-FILHO, M. *Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito*. Cerne, Lavras, v. 5, n. 2, p. 051-064, 1999.
- OSAKA, M.; WATANABE, T.; TADANO, T. Nutritional characteristics and Al tolerance of plants grow in low pH soils. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW PH, 4., 1996, Belo Horizonte. Anais... Campinas, 1997. p. 276.
- PINHEIRO, R. C. *Abordagem fitoquímica, rendimento do óleo essencial de Lychnophora pinaster Mart. utilizando dois métodos de secagem*. 2002. 41 p.

Dissertação (Mestrado em Agroquímica e Agrobioquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PINHEIRO, R. C.; PINTO, J. E. B. P.; CARDOSO, M. das G. et al. Estudos fitoquímicos preliminares em amica mineira. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 17., 2002, Cuiabá. Anais... Cuiabá: UFMT, 2002. 1 CD-ROM.

PINTO, J. E. B. P.; CARDOSO, M. das G.; GAVILANES, M. L. et al. Plantas Medicinais. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 74 p. (Boletim de extensão).

PINTO, J. E. B. P.; LAMEIRA, O. A. Micropropagação e metabólitos secundários *in vitro* de plantas medicinais. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 101 p. (Texto Acadêmico).

PRAKASA RAO, E. V. S.; SINGH, M.; GANESHA RAO, A. R. S.; NARAYANA, M. R. Response of palmarosa (*Cymbopogon martini* (Roxb) Wats. var motia) to farmyard manure and nitrogen. *Indian Journal of Agronomy*, New Delhi, v. 34. n. 3, p. 376-378, Sept. 1989.

RAO, E. V. S. P. et al. Effect of plant spacing and application of nitrogen fertilizer on herb and essential oil yields of palmarosa. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 104, n. 1, p. 67-70, Feb. 1985.

REIS, M. S.; MARIOT, A. Diversidade natural e aspectos agrônômicos de plantas medicinais. In: SIMÕES, C. M. O. et al. (Org.). *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 4. ed. rev. – Porto Alegre: Universidade/UFRGS; Florianópolis: Ed. UFSC, 2002. p. 41-61.

RODRIGUES, C. R. Crescimento, nutrição mineral e teor de óleo essencial (*Mentha piperita* L.) em solução nutritiva sob diferentes concentrações de fósforo. 2003. 49 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. A. Plantas medicinais no domínio dos cerrados. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 180 p.

SANTOS NETO, A. L.; BLANK, A. F.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; CARVALHO FILHO, J. L. S.; SILVA, P. A.; AMANCIO, V. F. Avaliação de doses de calcário e fertilizante formulado na produção de mudas de dois cultivares de manjerição. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 19, jul. 2001. Suplemento. CD-ROM.

SANTOS, R. I. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. In: SIMÕES, C. M. O. et al. (Org.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 4. ed. – Porto Alegre: Universidade/UFRGS ; Florianópolis: Ed. UFSC, 2002. p. 333-364.

SAÚDE, D. A.; RASLAN, D. S.; OLIVEIRA, A. B. Testes de atividade antitumoral e anti-HIV de lactonas sesquiterpênicas de *Lychnophora trichocarpa* Spreng. (Asteraceae). In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 13., 1994, Fortaleza. **Resumo de temas livres**. Fortaleza, 1994.

SCHEFFER, M. C. Influência da adubação orgânica sobre a biomassa, o rendimento e a composição do óleo essencial de *Achillea millefolium* L. – mil folhas. 1991. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, F. G.; PINTO, J. E. B. P.; CARDOSO, M. G.; SALES, J. F.; MOL, D. J. S.; DIVINO, S. P.; GONÇALVES, L. D.; SHAN, A. Y. K. V.; BERTOLUCCI, S. K. Crescimento e rendimento do solo essencial de carqueja amarga, no campo, em diferentes níveis de irradiância. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, jul. 2001. Suplemento. CD-ROM.

SILVA, N. F.; FERREIRA, F. A.; FONTES, P. C. R.; SEDIYAMA, M. A. N. Crescimento e estado nutricional de abóbora híbrida em função de adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 3, p. 193-200, 1999.

SILVA, S. M. P. Aspectos da fenologia e da reprodução sexuada da arnica (*Lychnophora pinaster* Mart.) – Asteraceae. 1994. 45 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C. M. O. et al. (Org.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 4. ed. – Porto Alegre / Florianópolis: Ed. Universidade/UFRGS / Ed. UFSC, 2002. p. 397-425.

SINGH, M.; SHARMA, S.; RAMESH, S. Herbage, oil yield and quality of patchouli [*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.] influenced by irrigation, organic mulch and nitrogen application in semi-arid tropical climate. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 101-107, Sept. 2002.

SINGH, R. S.; BHATTACHARYYA, T. K.; KAKTI, M. C.; BORDOLOI, D. N. Effect of nitrogen, phosphorus and potash on essential-oil production of palmarosa (*Cymbopogon martini* var *motia*) under rainfed condition. *Indian Journal of Agronomy*, New Delhi, v. 37, n. 2, p. 305-308, Mar. 1992.

SOUZA, A. V. Propagação *in vitro* e aspectos anatômicos de arnica (*Lychnophora pinaster*) Mart. 2003. 127 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

TEDESCO, M. J.; GIANELO, C.; BISSANI, C. A.; BOHEN, H.; VOLKWEIS, S. J. Análise de solo, planta e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174 p.

TIWARI, K. P.; NAMDEO, K. N.; TOMAR, R. K. S.; RAGHU, J. S. Effect of macro and micronutrientes in combination with organic manures on the production of sesame (*Sesamum indicum*). *Indian Journal of Agronomy*, New Delhi, v. 40, n. 1, p. 137-138, Mar. 1995.

VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A.; FURTINI NETO, A. E. Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes. Lavras: UFLA/FAEPE, 1993. 171 p.

VARANINE, Z.; PINTON, R.; BIASE, M. G.; ASTOLFI, S.; MAGGIONI, A. Low molecular weight humic substances stimulate H⁺-ATPases activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 153, n. 1, p. 61-69, June 1993.

VIEIRA, M. C.; HEREDIA Z., N. A.; BRATTI, C.; BASSO, K. C.; FORTES, C. G.; CASTEL, D. D. Adubação nitrogenada e fosfatada na camomila 'Mandirituba'. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 19, jul. 2001. Suplemento. CD-ROM.

YADAV, R. L.; ANWAR, R. M.; RAM, M. Fertilizer-nitrogen recovery and growth of Java citronella as influenced by row spacing and nitrogen. *Indian Journal Agronomy*, New Delhi, v. 29, n. 3, p. 305-308, 1984.

ZANZINI, A. C. S.; OLIVEIRA, J. J. Lei de crimes ambientais: guia básico para o produtor rural. Lavras: UFLA, 1999. 26 p. (Boletim de extensão nº 50).

ANEXOS

	Pg.
TABELA 1A. Resumo da análise de variância para a produção de massas fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, seca de raiz (MSR) e crescimento relativo (CR) da arnica, em função da calagem e adubação.....	55
TABELA 2A. Resumo da análise de variância para os teores e rendimento de óleo essencial da arnica, em função dos tratamentos.....	55

TABELA 1A. Resumo da análise de variância para a produção de massas fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, seca de raiz (MSR) e crescimento relativo (CR) da amica, em função da calagem e adubação.

FV	GL	MFPA	MSPA	MSR	CR
		Quadrados Médios			
Tratamentos	6	249,022 **	19,837 **	2,180 **	43211,176 **
Calagem	1	15,667 ns	2,464 *	1,508 ns	7758,661 ns
Adubação	2	717,569 **	54,035 **	53,903 **	96223,049 **
Cal x Adub.	2	20,910 *	1,321 *	0,605 **	25489,317 *
Controle x fatorial	1	1,509 ns	5,843 **	2,407 **	8083,661 ns
Erro total	35	4,951	0,3392	0,139	5187,907
CV (%)		13,17	10,68	14,17	34,22

** , * e ns, significativo a 1% , 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 2A. Resumo da análise de variância para os teores e rendimento de óleo essencial da amica, em função dos tratamentos.

FV	GL	Teor	Rendimento
		Quadrados Médios	
Tratamentos	6	0,00065 **	0,030 **
Calagem	1	0,000390 **	0,017 **
Adubação	2	0,000779 **	0,044 **
Cal x Adub.	2	0,000359 **	0,024 **
Controle x fatorial	1	0,000963 **	0,028 **
Erro total	35	0,0001	0,004
CV (%)		20,64	22,04

** significativo a 1% pelo teste de F.

