

A photograph of a field of yellow flowers, likely a medicinal or aromatic plant, with green foliage. The flowers are scattered throughout the frame, and the background is a dense thicket of green leaves and stems.

Plantas Medicinais e Aromáticas

Manejo e Ambiente

Iraci Fidelis
Vicente W. Casali

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

**PLANTAS MEDICINAIS E AROMÁTICAS:
MANEJO E AMBIENTE**

**Iraci Fidelis
Vicente W. D. Casali**

Março 2004

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

apa: Rosângela Maria Evangelista de Carvalho

fotografia da Capa: Francisco Glicério Ribeiro

agregação: Rosângela Maria Evangelista de Carvalho
Suzana Patricia Lisboa

serviços Gráficos: D & M Gráfica Editora LTDA

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

F451p
2004
Fidelis, Iraci
Plantas medicinais e aromáticas : manejo e ambiente /
Iraci Fidelis, Vicente W. D. Casali. – Viçosa, 2004.
141p. : il. ; 23cm

Inclui bibliografia.

1. Plantas medicinais. 2. Plantas aromáticas. I. Casali,
Vicente W. D. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. III. Título.

CDD 20.ed. 581.634

Esta publicação faz parte do projeto “Divulgação das Plantas Medicinais e da Homeopatia”, Pró-Reitoria de Extensão e Cultura da UFV.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

Reitor: Evaldo Ferreira Vilela

Vice Reitor: Fernando da Costa Baêta

Pró-Reitor de Extensão e Cultura: Luciano Baião Vieira

Diretor do Centro de Ciências Agrárias: Geraldo A . A . Araújo

Diretor do Centro de Ensino de Extensão: Flávio Alencar D' Araújo Couto

Chefe do Departamento de Fitotecnia: José Geraldo Barbosa

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia: Tocio Sedyama

**VIÇOSA MG
2004**

AUTORES

Iraci Fidelis

Engenheiro Agrônomo, UFLA
Mestrado em Agricultura, UFLA
Doutorado em Fitotecnia, UFV

Vicente Wagner Dias Casali

Engenheiro Agrônomo, 1966, UFRRJ; M.S. Fitotecnia, 1970, UFV; Ph. D. Genética e Melhoramento, 1973, Purdue University EUA; Professor da UFV desde 1968. Membro do "Grupo Entre Folhas Plantas Medicinais" DFT/UFV desde 1989.

GESTOR

FUNARBE Fundação Arthur Bernardes
Campus da UFV
Viçosa MG

EDITORAÇÃO/PROJETO GRÁFICO E ARTE TÉCNICA

Rosângela Maria Evangelista de Carvalho
Economista Domestica, UFV

Suzana Patricia Lisboa
Engenheira Agrônoma, UFV

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todas as pessoas que de modo direto ou indireto colaboraram na elaboração e publicação deste trabalho.

Os autores agradecem a oportunidade de atuarem no projeto de extensão “Divulgação das Plantas Medicinais e da Homeopatia” e programa de extensão “Divulgação das Plantas Medicinais, da Homeopatia e da Produção de Alimentos Orgânicos”. A oportunidade foi valiosa porque assim o esforço individual foi somado a algo de maior abrangência.

Os autores agradecem à Rosangela Maria Evangelista de Carvalho e Suzana Patricia Lisboa pelo empenho e responsabilidade na Editoração, Projeto Gráfico e Arte Técnica.

Finalmente os agradecimentos à Universidade Federal de Viçosa e ao CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio.

SUMÁRIO

1	Efeitos da luz, fotoperíodo e temperatura no desenvolvimento das plantas	13
1.1	Efeito da temperatura, níveis de luz na produção de folhas; conteúdo de alcaloide em duas espécies de <i>Erythroxylum</i>	14
1.2	Efeito da luz na síntese de óleos essenciais.....	17
1.2.1	Características morfológicas.....	17
1.2.2	Análise de óleo essencial.....	18
1.3	Fotoperiodismo.....	21
1.3.1	Efeito ambiental em hortelã pimenta (<i>Mentha piperita</i>).....	21
1.4	Efeito no internódio e crescimento foliar.....	28
1.4.1	Taxa de desenvolvimento foliar.....	29
1.4.2	Expansão foliar e tempo de alongamento do internódio.....	29
1.5	Produção de camphothecin em plântulas de <i>Camphotheca acuminata</i> em resposta ao sombreamento e alagamento.....	29
1.5.1	Altura das plantas.....	30
1.5.2	Concentração de camptothecin.....	31
	Bibliografia.....	34
2	Efeitos de poda, adubação e pH no desenvolvimento de plantas medicinais	37
2.1	Crescimento de raízes e parte aérea de <i>Taraxacum officinale</i> em função do desfolhamento, do cultivo orgânico e hidropônico.....	38
2.1.1	Crescimento de raízes.....	39
2.1.2	Crescimento da parte aérea.....	40
2.2	Produção do alcalóide ergotina da <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.....	43
2.2.1	Concentração do alcalóide ergotina.....	44

2.2.2	Rendimento de ergotina.....	45
2.2.3	Produção de ergotina.....	45
2.2.4	Efeito da idade da folha na ergotina.....	46
2.3	Substrato e solução nutritiva do cultivo orgânico de plantas medicinais transplantadas.....	47
2.3.1	Composição mineral.....	48
2.4	Crescimento e composição química das plantas <i>Leucosium aestivum</i> L.....	52
2.5	Seleção de variedades de hortelã (<i>Mentha arvensis</i>) visando alta produção de biomassa e óleo essencial (com menthol) em plantas tardias e subtropicais.....	56
2.6	Produção de biomassa, pH do solo e wedelolactona em <i>Eclipta alba</i>	60
	Bibliografia.....	63
3	Espaçamento e densidade de plantio.....	65
3.1	Efeito do espaçamento de plantas e níveis de nitrogênio na produção de sementes de aneto.....	66
3.1.2	Altura das plantas e número de umbelas por planta.....	67
3.2	Otimização do tempo de colheita e espaçamento visando qualidade da hortelã japonesa (<i>Mentha arvensis</i> L.).....	70
3.2.1	Efeito da variedade.....	71
3.2.2	Efeito do espaçamento.....	72
3.2.3	Efeito do tempo de colheita.....	72
3.3	Efeito da densidade de plantio na produção de raízes de valeriana.....	75
3.4	Produção de <i>Eleutherine bulbosa</i> Iridaceae em função do peso dos bulbos e do espaçamento.....	76
3.5	Qualidade de camomila destinada ao processamento comercial.....	78

3.5.1	Sobrevivência no inverno	80
3.5.2	Morfologia da planta e produção de flores.....	80
3.5.3	Conteúdo do óleo essencial e produção.....	82
	Bibliografia	83
4	Deficiência hídrica	85
4.1	Produção de metabólito secundário pela <i>Digitalis lanata</i> durante o estresse hídrico.....	85
4.1.1	Resposta durante o enriquecimento de Co ₂	86
4.1.2	Resposta durante a deficiência hídrica.....	86
4.2	Transpiração, glândulas de óleos essenciais, cera epicuticular e morfologia de <i>Tymus vulgaris</i> influenciados pela intensidade de luz e suplemento de água.....	89
4.2.1	Curva de retenção de água de ramos extirpados com folhas.....	90
4.2.2	Glândula de óleo essencial e óleo essencial.....	92
4.2.3	Resistência da cera epicuticular.....	96
4.2.4	Característica morfológica.....	97
	Bibliografia.....	100
5	Efeito da Luz Ultravioleta B sobre as plantas Medicinais	101

1. Efeitos da luz, do fotoperíodo e da temperatura no desenvolvimento das plantas

Nas plantas, a capacidade de modificar o respectivo desenvolvimento em resposta a mudanças ambientais é o principal fator da adaptação em habitat específicos (JONES, 1994).

A intensidade da luz determina a velocidade do crescimento celular, a acumulação de pigmentos e a diferenciação de plastídios (ARNIM & DENG, 1996). A luz influencia a taxa de divisão celular e sua duração, sendo a dimensão final das células influenciada pela luz (GABA & BLACK, 1983). Os órgãos também respondem à luz, pois o crescimento de tecidos foliares, hipocótilo e caule são influenciados pela quantidade e qualidade da radiação (GABA & BLACK, 1983). O aumento da radiação luminosa intensifica a atividade fotossintética, aumentando também a produção de hidratos de carbono assim como o teor de matéria seca, enquanto a deficiência luminosa causa alongamento celular e estiolamento sem alteração do teor de matéria seca (PANDURO, 1986).

A luz interfere com a estrutura foliar e tem sido mostrado que muitas espécies de plantas tem a capacidade de responder a níveis de luz via anatomia foliar. Folhas de plantas cultivadas em intensa luz solar tem maior peso por unidade de área do que folhas em baixo nível de luz (BJORKMAN, 1981). O aumento na espessura foliar, quando devido a alongação ou adição das células paliçádicas, está ligado a redução da resistência do mesofilo ao dióxido de carbono (NOBEL, 1977) e está correlacionado com o aumento dos fatores limitantes da fotossíntese (como RuBisCo, transportadores de elétrons, condutância estomatal) (BJORKMAN, 1981).

A luz influencia também a germinação de algumas sementes, a indução floral, a taxa de florescimento (NEUMAIER & BLESSINGTON, 1987) e o movimento de estômatos (ZEIGER, KENDRICK, KRONENBERG, 1986).

O crescimento das plantas é sensível à temperatura. Mudanças freqüentes de poucos graus causa mudanças significativas na taxa de crescimento. Cada espécie ou variedade tem a própria temperatura

ótima de crescimento. Na faixa de temperatura ótima ocorrerá taxa máxima de crescimento, e na temperatura limite não crescerá e pode até senescer.

1.1. Efeito da temperatura e níveis de luz na produção de folhas e no conteúdo de alcalóide em duas espécies de *Erythroxylum*

ACOCK et al., (1996), estudando o cultivo da espécie de *Erythroxylum* visando produção do alcalóide ($C_{17}H_{12}O_4N$), verificou que pouco é conhecido sobre a modalidade da resposta da espécie à temperatura e luz. Foram cultivadas duas espécies, *Erythroxylum coca* var. *coca* (A) e *Erythroxylum novogranatense* var. *novo* (B). Foi quantificado o efeito da temperatura, da luz, e das condições ambientais que favorecem o crescimento e a produção do alcalóide.

As plantas foram submetidas a quatro regimes de temperatura dia/noite de (20/16, 25/21, 30/26 e 35/31°C) e a três condições fotossintéticas (densidade de fluxo de ftons/PPFDs), 155, 250 e 400 mol ($m^{-2} s^{-1}$) no topo do dossel das plantas no período de 12 horas.

A resposta da matéria seca da folha à temperatura foi quadrática em ambas variedades A e B. A temperatura ótima de produção de folhas pelo modelo de regressão foi 26,2°C (A) e 27,0°C (B).

A temperatura afetou a concentração do alcalóide na folha. A maior concentração do alcalóide na folha ocorreu na A, a aproximadamente 24°C e 25°C na B. A produção de alcalóide pela planta é função da massa foliar e da concentração na folha. Plantas da variedade A tinham maior concentração de alcalóide em suas folhas mas as plantas de B foram vegetativamente mais vigorosas (Tabela 1). Estes resultados não foram significativamente diferentes entre espécies em qualquer temperatura. A ótima temperatura de produção do alcalóide por planta foi reflexo na massa foliar, demonstrando que a produção é função da massa foliar e não da concentração existente na folhas.

Em relação ao PPFD, plantas de A e B cultivadas em 250 ou 400 mol ($m^{-2} s^{-1}$) tinham maior peso de folhas secas do que aquelas

cultivadas a $155\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Tabela 1). Entretanto, nenhuma diferença significativa na matéria seca das folhas foi encontrada entre os tratamentos 250 e $400\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Plantas de A produziram menor massa foliar que plantas de B em qualquer tratamento de PPFD (Tabela 1). Quando a temperatura e PPFD mais favorável foi comparada por espécie (o que corresponde a $30/26^{\circ}\text{C}$ e $250\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na A e $30/26^{\circ}\text{C}$ e $400\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na B), B produziu 29,5% maior massa foliar que A. Em condições de crescimento menos favorável ($20/16^{\circ}\text{C}$ e $155\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em ambas espécies), B superou a produção de A em 118%. B é claramente a mais vigorosa vegetativamente das duas espécies. A concentração de alcalóide nas folhas não foi afetada pelas diferenças em PPFD entre 155 e $400\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em ambas as espécies (Tabela 1).

Tabela 1. Efeito da intensidade de luz na matéria seca das folhas e concentração de alcalóide por 13,5 meses de idade de plantas de *Erythroxylum* (cv. A e B) cultivadas na temperatura média de 28°C. (Adaptado ACOCK, LYDON, JOHNSON e COLLINS, 1996).

Variável / Variedade	Fluxo de Foton (fotosintético) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	155	250	400	l.s.d. 0,05
Peso seco da folha (g por planta)				
A	2,51‡	4,33	4,14	0,93
B	3,93	5,48	5,61	1,18
A vs. B	*	*	*	
Concentração de alcaloide [mg (100g folha) ⁻¹]				
A	0,71	0,80	0,74	0,10
B	0,68	0,60	0,67	0,16
A vs. B	NS	*	NS	
Conteúdo de alcalóide (mg por planta)				
A	17,81	34,81	30,68	7,95
B	27,67	31,91	37,11	9,00
A vs. B	NS	NS	NS	

‡ valores médios;

l.s.d. média separada dentro de mesma linha a $P < 0,05$.

NS - Não significativo / * - significativo a $P < 0,05$.

1.2. Efeito da luz na síntese de óleos essenciais

O papel da luz na síntese de óleos essenciais tem sido estudado com interesse nos anos mais recentes (LI, CRAKER & POTTER, 1996).

Segundo LI, CRAKER & POTTER (1996), o total da concentração de óleo em aneto (*Anethum graveolens*); cresceu quando a quantidade de luz aumentou. O aumento na produção de óleo em alto nível de luz tem sido observado em *Mentha piperita*, *Matricaria recutita* e *Thymus vulgaris*.

A redução da radiação solar pelo sombreamento de plantas tem sido associada com significativo decréscimo no conteúdo de óleo essencial de algumas ervas, afetando também a composição do óleo. A produção de óleo de "Philippine mint" (*Mentha cordifolia*) foi 28% menor nas plantas crescidas em 2% do total de luz solar do que nas plantas crescidas a 25% do total da luz solar (CANTORIA et al., 1974).

LI, CRAKER & POTTER (1996) mediram o efeito do nível de luz (45%, 27% ou 15% do total da luz solar e 100% - controle) na produção de óleo essencial de salvia (*Salvia officinalis*) e em tomilho (*Thymus vulgaris*). Os dados desta pesquisa constam dos itens 1.2.1 e 1.2.2.

1.2.1 Característica morfológica

Na condição de luz solar reduzida, salvia e tomilho tinham folhas mais delgadas e pálidas do que plantas crescidas na luz total. Em salvia, o comprimento dos internódios aumentou quando o nível de luz foi diminuído. O comprimento e largura das folhas foram maiores em plantas crescidas a 100% do total da luz solar. O número de folhas, ramos e nós do caule principal de salvia diferiu entre plantas nos quatro níveis de luz. A densidade de pêlos peltados no lado abaxial das folhas de salvia decresceu quando o nível de luz diminuiu (Tabela 2).

1.2.2 Análise de óleo essencial

Foram identificados 89 compostos na salvia crescida a 100% do total da luz solar. Na luz total (0,34% de óleo nas folhas frescas), o conteúdo foi menor do que em 45% da luz (0,38% de óleo nas folhas frescas). A concentração de óleo decresceu quando o nível de luz decresceu de 45% até 15% do total da luz solar. (Figura 1).

No tomilho, o total de concentração de óleo foi o mais alto em plantas crescidas a 100% do total de luz solar (0,49% peso fresco) e diminuiu significativamente com o decréscimo no nível de luz (Figura. 2).

Segundo LI, CRAKER & POTTER (1996), a produção de erva e produção de óleo essencial foram diretamente associados com a produção de biomassa e assim com a fotossíntese porque a produção de ervas e óleo essencial aumentaram com o aumento no nível de luz. Neste experimento demonstrou-se que o efeito da luz na produção de óleo essencial e constituintes não estavam necessariamente associados com o crescimento. Plantas de mesmo porte ainda tinham alguma diferença no conteúdo de óleo e constituintes.

Pêlos peltados são importantes locais de síntese e acumulação de óleo essencial em ervas, especialmente acumulação de monoterpenos, sesquiterpenos e diterpenos (LI, CRAKER & POTTER, 1996).

A densidade de pêlos peltados de salvia e tomilho aumentaram significativamente quando o nível de luz aumentou. A quantidade maior ocorreu a 100% do total da luz solar, significando que a luz poderia ter efeito no pêlo peltado. O maior nível de acumulação de óleo essencial em salvia foi a 45%, da luz solar significando que não foi dependente do número de pêlos peltados das folhas. Provavelmente outro fator, tal como a atividade de enzimas catalisando a reação de acumulação de monoterpenos seria afetado pela luz (LI, CRAKER & POTTER 1996).

Tabela 2. Período de crescimento de salvia e tomilho em quatro níveis de luz. Adaptado de LI, CRAKER & POTTER 1996.

Tratamento	Período de crescimento (dias)	
	Salvia	Tomilho
15% da luz total	90	85
27% da luz total	80	75
45% da luz total	72	65
100% da luz total	65	55

tabela 3. Valores médios de características morfológicas de salvia crescida em quatro níveis de luz. Adaptado de LI, CRAKER & POTTER 1996.

Características morfológicas	Nível de luz (% total da luz solar)			
	15	27	45	100
Altura (cm)	52,2 ^a	58,6 ^b	55,0 ^{ab}	40,1
Comprimento de internódios (cm)	4,2 ^a	5,3 ^b	4,9 ^{ab}	3,1
Número de internódios	9,8 ^a	10,7 ^b	10,4 ^b	8,5
Número de ramos	8,9 ^a	10,5 ^b	12,2	13,1
Número de folhas	65, ^a 0	83,4 ^b	87,4 ^b	70,9
Comprimento de folhas (cm)	12, ^a 0	2,3 ^a	13,5 ^b	15,2
Largura de folhas (cm)	2,2 ^a	2,4 ^{ab}	2,6 ^b	3,4
Número pêlos peltados / mm ²	5,4 ^a	10,0 ^b	12,5 ^b	20,6

Na linha as letras indicam diferenças significativas a 0,05 (P)

1.3. Fotoperiodismo

Nas áreas não montanhosas, localizados na linha do equador, o nascente e o poente ocorrem no mesmo momento a cada dia do ano, então o comprimento do dia e da noite permanece constante. Nos pólos, o sol permanece acima do horizonte seis meses seguidos de cada ano e nos outros seis meses subsequentes permanece abaixo do horizonte. Novamente, o dia e a noite são aproximadamente iguais (SALLISBURY & ROSS, 1992). A capacidade da planta detectar o comprimento do dia torna possível a resposta às estações do ano. Dessa forma, denomina-se fotoperíodo a resposta da planta ao período de comprimento relativo luminoso x escuro. As respostas controladas pelo comprimento do dia nas plantas são inúmeras. Destaca-se: iniciação e desenvolvimento das flores, reprodução sexual, formação de órgãos armazenadores e iniciação da dormência.

1.3.1 Efeito ambiental em hortelã-pimenta (*Mentha piperita*)

A biossíntese e o metabolismo dos monoterpenos de hortelã-pimenta (*Mentha piperita* L.) são influenciados por fatores ambientais de acordo com CLARK & MENARY (1980). O crescimento da planta e a produção de óleo da hortelã-pimenta são influenciados pelo fotoperíodo. Dias curtos causam plantas decumbentes, folhas pequenas e muitos estolhos, enquanto que nos dias longos as plantas são eretas, as folhas são maiores, e há maior produção de óleo essencial conforme relatado CLARK & MENARY (1980).

Ao fotoperíodo tem sido atribuídos efeitos na composição do óleo. Plantas submetidas a fotoperíodos longos (12 h luz / 12 h escuro, com período escuro interrompido) continham pequena quantidade do menthofuran e grande quantidade de menthone e menthol. Plantas submetidas a fotoperíodos curtos (12 h luz) continham pequena quantidade de menthone e menthol e grande quantidade de menthofuran. Foram relatados efeitos em diversos outros monoterpenos de hortelã-pimenta (CLARK & MENARY, 1980).

CLARK & MENARY (1980), relataram que, em dias de 8h ou 14h, havia efeito da luz e da temperatura na composição do óleo, quando plantas eram cultivadas a 25°C de temperatura diurna. Noites quentes (25°C) favorecia a oxidação do composto menthofuran e pulegone, enquanto noites frias (8°C) favoreciam a produção de mais compostos porém reduzindo o menthone. A temperatura da noite tem pouco efeito na composição do óleo quando o comprimento do dia foi aumentado até 18 h; menthone tornou-se o monoterpene dominante em ambas noites quentes e frias.

CROTEAU et al. (1972) relataram que o sítio de biossíntese de monoterpenos em hortelã-pimenta é deficiente em energia. Sugeriram que a carência de cofatores tais como NADPH₂ de glândulas produtoras de óleo limitaria a síntese de óleo, maturação do óleo e interconversão de monoterpenos. O NADPH₂ é o cofator necessário na conversão de pulegone em menthone, isomenthone e menthol (BATTALDE et al., 1968). CROTEAU et al. (1972) sugeriram que células de glândulas produtoras de óleo são sensíveis ao tipo e à quantidade de substâncias disponíveis das células adjacentes, e que alguns fatores influenciam no balanço de carboidrato dentro da planta afetando a síntese e composição de monoterpenos.

CLARK & MENARY (1980) analisaram na produção e composição do óleo de hortelã pimenta o efeito da interação de fatores ambientais.

Experimento 1. Análise periódica dos componentes do óleo

DL x BTN: dias longos (16 h de luz) e baixa temperatura noturna (10 2°C).

DC x ANT: dias curtos (8 h de luz) e alta temperatura noturna ((18 2°C).

A temperatura da sala de crescimento foi 20 3°C e a densidade de fluxo de foton (PPDS) foi 900 a 1200 Em²s⁻¹ no período do experimento.

Experimento 2. Interação entre fatores ambientais

Consistiu do experimento fatorial 2x2x3 com 3 repetições e 8 plantas por repetição. O experimento foi conduzido na mesma sala de crescimento do experimento 1 e os tratamentos foram:

Comprimento do dia: longo (16 h de luz), DL; curto (8 h de luz), DC;

Temperatura noturna: baixa (10 °C), BTN; alta (20 °C), ANT;

Densidade de fluxo de foton: 10% da densidade de fluxo de foton da casa de vegetação (150 Em⁻²s⁻¹), L1; 50% da densidade de fluxo de foton da casa de vegetação (600 Em⁻²s⁻¹), L2; e densidade de fluxo de foton da casa de vegetação (1200 Em⁻²s⁻¹). A temperatura da sala de crescimento foi 26 °C no período do experimento.

Experimento 1. Composição do óleo

Os resultados foram obtidos de 3 colheitas. Em ambos tratamentos DL x BTN e DC x ATN, menthone diminuiu das folhas mais jovens às folhas mais velhas, enquanto menthol e acetato de metila foram mais altos nos pares de folhas mais velhos. Diferenças estatísticas significativamente na interação do tratamento das folhas foram encontradas. Em ambos, menthone e menthafuran, foram significativamente mais baixos sob condições DC x ATN mas as diferenças não foram consideradas biologicamente significativas. Mudanças no menthofuran e pulegone foram menos pronunciados com baixa concentração nas folhas. Menthone e menthol foram monoterpenos predominantes em ambos os tratamentos. A análise do óleo destilado do caule de todas as plantas confirmou que a composição do óleo não foi afetada pelas condições de crescimento do tratamento (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito da temperatura noturna e comprimento do dia na composição do óleo de hortelã-pimenta. Os dados são médias de três repetições com cinco plantas por repetição. NP não significativo ao nível de 5%. Adaptado de CLARK e MENARY 1980.

Composto	Porcentagem de cada composto		
	DL x BTN	DL x ATN	razão de variação
Menthone	29,96	29,73	0,81 n.s
Menthofuran	4,85	5,06	0,410 n.s
Acetato de metila	1,20	1,23	0,022 n.s
Menthol	51,09	50,45	1,854 n.s
Pulegone	1,92	1,90	0,038 n.s

Experimento 2.

Matéria seca e percentagem da produção de óleo

A matéria seca e a produção de óleo aumentaram quando a densidade de fluxo de foton aumentou de L1 a L3 em DC E DL e temperatura noturna (Tabela 5). Tal aumento foi mais pronunciado no tratamento DL, resultando significativamente em maior matéria seca e produção de óleo no DL e na alta intensidade de fluxo de foton fotossintético (L3). Dentro do tratamento de comprimento do dia, ATN favoreceu a alta produção de matéria seca. A percentagem de produção de óleo (Tabela 5) foi maior alta em plantas cultivadas em DL. Temperaturas noturnas e densidade de fluxo de foton não tiveram efeito significativo na percentagem de produção de óleo.

Tabela 5. Matéria seca e produção de óleo, valor médio de oito plantas.
Adaptado de CLARK e MENARY 1980

Condições de crescimento	Matéria seca (g)	Produção de óleo	
		(g)	% matéria seca
DL x BTN x L1	3,27	0,0828	2,54
DL x BTN x L2	12,85	0,3182	2,48
DL x BTN x L3	19,49	0,4856	2,49
DL x ATN x L1	4,44	0,1099	2,48
DL x ATN x L2	15,04	0,3662	2,44
DL x ATN x L3	24,03	0,5770	2,40
DC x BTN x L1	1,11	0,0335	2,04
DC x BTN x L2	4,22	0,0792	1,88
DC x BTN x L3	8,74	0,1634	1,87
DC x ATN x L1	1,25	0,0363	2,01
DC x ATN x L2	7,14	0,1307	1,83
DC x ATN x L3	10,39	0,1886	1,82

Composição do óleo

Altas concentrações de biomassa foram favorecidas por DC, alta densidade de fluxo de foton (L3) e BTN. Não houve efeito do comprimento do dia na concentração de cineole a baixa densidade de fluxo de foton (L1). Dias longos (DL) e baixa temperatura noturna (BTN) favoreceram a alta concentração de menthone.

Menthofuran decresceu quando a densidade de fluxo de foton diminuiu. Menthol foi maior em DC e ATN.

Dias longos, alta densidade de fluxo de foton e alta temperatura noturna favoreceram a maior produção de óleo. O aumento no total de óleo com o aumento do comprimento do dia foi associado ao aumento em matéria seca por planta e percentagem da produção de óleo, sendo concordante com os resultados de CLARCK & MENARY (1979a). A composição dos monoterpenos não foi afetada pelo comprimento do dia ou temperaturas noturnas quando as plantas foram cultivadas em casa de vegetação com densidade de fluxo de foton e 26 °C de temperatura do dia. Portanto, a temperatura do dia é fator interativo importante na determinação da composição do óleo. O aumento na temperatura do dia de 20 a 26 °C pode favorecer a diminuição dos substratos da respiração pelo aumento da utilização e/ou dos fotossintatos fixados.

O efeito da densidade de fluxo de foton, temperatura noturna e comprimento do dia na composição do óleo está de acordo com o modelo proposto por CLARK & MENARY. Dentro deste modelo o balanço entre a acumulação dos fotossintatos durante o dia e a utilização destes fotossintatos à noite determina a acumulação dos monoterpenos. Fatores favorecendo altos níveis de fotossintatos (como dias longos, altas densidade de fluxo de foton e baixa temperatura noturna) possibilitam alta concentração de cineole e menthone e baixa concentração de menthofuran e pulegone.

O modelo dos fotossintatos tem suporte nas interações entre tratamentos. Por exemplo, na menor densidade de fluxo de foton (L1), menthofuran foi maior sem restrição de comprimento do dia e

temperaturas noturnas. Com o aumento da densidade de fluxo de foton, temperatura noturna e comprimento do dia tornaram-se importantes na composição do óleo.

1.4. Efeito da temperatura no internódio e crescimento foliar

O alongamento do internódio e a expansão foliar são reconhecidos como fenômeno básico de morfogênese e crescimento da parte aérea. O internódio eleva outros órgãos, particularmente, as folhas na efetiva interceptação da radiação fotossintética ativa (PAR) MORRISON et al, 1994. Aspectos anatômicos e fisiológicos do crescimento tem sido descritos (ALM et al., 1991), mas poucos estudos tem investigado a morfogênese e o alongamento de órgãos de plantas. (REDDY, HODGES & MCKINION, 1997).

Temperatura, água e nutrientes influenciam o crescimento e desenvolvimento. O crescimento e desenvolvimento de cada órgão da planta são influenciados pela competição de outros órgãos tanto quanto as condições ambientais. Alguns processos de crescimento e desenvolvimento são vagarosos ou rápidos quando a relação suplemento/demanda por fotossintatos muda (REDDY, HODGES & MCKINION, 1997).

O desenvolvimento da planta exerce papel fundamental no sistema de produção e na colheita, controlando: **a)** taxa de produção de novas folhas, **b)** o numero total de folhas, **c)** a duração da expansão da área foliar e **d)** a altura da planta (REDDY, HODGES & MCKINION, 1997).

O crescimento em altura da planta e desenvolvimento da área foliar nas estações, é essencial à taxa de crescimento das folhas e dos internódios. O mecanismo de expansão do internódio é similar em dicotiledôneas e monocotiledôneas. REDDY et al. (1997) estabelecem os parâmetros do crescimento da folha e do internódio em ótimas condições de crescimento, a temperatura foi fator limitante. Foi relatado o efeito interativo da temperatura e enriquecimento com CO₂ no modelo de crescimento caule e folha.

1.4.1 Taxa de desenvolvimento foliar

O caule principal e os ramos frutíferos são importantes porque determinam o número de folhas, o desenvolvimento do dossel e a interceptação da PAR. A taxa diária de desenvolvimento acumula até o valor igual a um(1) ou maior, até iniciar uma nova folha no ramo principal ou nos ramos laterais (REDDY, HODGES & MCKINION, 1997). A 30 °C, foram necessários 2,2 dias para produzir nova folha no caule principal, enquanto 5,0 dias foram necessários a 20 °C. Ramos frutíferos, por outro lado, necessitam 9,5 dias a 20 °C e 6,0 dias a 30 °C.

1.4.2 Expansão foliar e tempo do alongamento do internódio

O tempo da expansão foliar e do alongamento do internódio de folhas não expandidas determina a taxa que estes processos são completados. Os internódios exigem menos tempo até atingir a dimensão final comparados às folhas (em todas as temperaturas). A relação entre a expansão e tempo decresceu quando a temperatura decresceu.

1.5. Produção de camptothecin em plântulas de *Camptotheca acuminata* em resposta ao sombreamento e alagamento

O Camptothecin (CPT) extraído da árvore *Camptotheca acuminata* Decaise (Nyssaceae) tem atividade antitumor. Camptothecin, alcalóide indólico, e metabólito secundário se forma em resposta ao estresse ambiental e contribui no mecanismo de defesa da planta contra herbívoros e patógenos. O mecanismo de defesa requer a alocação do total de fotossintatos. Portanto, existe estoque alternativo ou algum equilíbrio entre rebrota e defesa, de acordo com a prioridade da planta (LIU, CARPENTER & CONSTANTIN, 1997).

Quando as condições ambientais são alteradas, a prioridade de distribuição dos fotossintatos pode também ser alterada. Por exemplo, a relação raiz/parte aérea decresce quando aumenta o nitrogênio no solo ou alagamento. A alteração do crescimento em resposta a mudanças ambientais pode também ser acompanhada por mudanças no metabolismo dos metabólitos, tal como CPT em *C. acuminata* (LIU, CARPENTER & CONSTANTIN, 1997).

O sombreamento e o excesso hídrico no solo (alagamento) causam mudanças morfológicas e bioquímicas na planta, particularmente nas folhas (LIU, CARPENTER & CONSTANTIN, 1997).

Camptotheca acuminata crescida após a poda no campo acumula mais CPT no córtex, e menos no lenho e folhas. Em várias condições de luz e alagamento, a taxa de acumulação de CPT pode mudar. Foi analisado o efeito do alagamento e sombreamento no crescimento e concentração de CPT. Foram submetidas plântulas a dois níveis de água: não alagado e alagado, combinados com 3 níveis de sombreamento **a)** plantas não sombreadas, ou luz total, ou controle **b)** 67% da luz total e **c)** 27% da luz total LIU, CARPENTER & CONSTANTIN, (1997).

1.5.1. Altura

A altura após 2 semanas de sombreamento (ou um dia depois do começo do alagamento) não variou significativamente entre os tratamentos. Entretanto, uma semana depois do início do alagamento, o nível de sombreamento parece ser determinante na altura. O sombreamento 27% da luz total causou maior altura das plantas, seguido do sombreamento 67%. Plantas não sombreadas foram mais baixas. O alagamento não causou variação significativa na altura.

1.5.2. Concentração de Camptothecin

A concentração de camptothecin (CPT) no sombreamento 27% (S27) foi significativamente aumentada, enquanto folhas no sombreamento 67% (S67) não foram afetadas. O alagamento não causou acumulação significativa de CPT nas folhas, independente do sombreamento. A biomassa foliar não foi afetada pelo sombreamento. Entretanto, o alagamento reduziu a biomassa foliar após 4 semanas. O conteúdo de camptothecin (CPT) nas folhas foi significativamente maior em folhas sombreadas S27 do que a S67, independente do alagamento. Foi maior o conteúdo de CPT em plântulas alagadas e sombreadas S27, do que naquelas não alagadas com sombreamento S67.

A concentração de CPT nos caules não foi significativamente afetada por nenhum tratamento. A biomassa do caule, entretanto, aumentou significativamente na sombreada S27. Consequentemente, plântulas sombreadas acumularam significativamente mais CPT nos caules do que plântulas não sombreadas.

As raízes laterais, em S67, tinham maior concentração de CPT do que qualquer outro tratamento combinado. Plântulas em luz total (PNS) acumularam significativamente maior concentração de CPT nas raízes laterais do que S27. O alagamento, não teve efeito significativo na concentração de CPT nas raízes laterais em PNS e S27. O efeito do alagamento na biomassa de raízes laterais foi dependente do nível de sombreamento. Em luz solar total PNS a biomassa das raízes laterais foi bastante diminuída pelo alagamento. No sombreamento S67 a biomassa das raízes laterais foi significativamente reduzida pelo alagamento, mas menos do que o sombreamento S27.

Ao contrário, a biomassa das raízes laterais não foi afetada pelo alagamento no maior sombreamento. As raízes laterais continham a maior quantidade de CPT nas plântulas do controle, seguido por plântulas com sombreamento S67 e alagamento e por fim sombreamento S27 e não alagadas. A menor quantidade de CPT foi

encontrada nas raízes laterais com sombreamento S67 em luz solar total, mas alagado.

A maior mudança na concentração de CPT causado pelo sombreamento ou alagamento ocorreu nas folhas e raízes laterais, mas essas mudanças foram em direção oposta. Embora o leve sombreamento S27 tenha causado apenas pequena mudança na concentração de CPT nas folhas, o sombreamento S67 aumentou a concentração de CPT em 55% sem a influencia do alagamento ou próximo de 123% quando alagado. Em contraste, o sombreamento S67 sozinho diminuiu a concentração de CPT nas raízes laterais próximo de 42% e 33% quando alagado. O sombreamento sozinho diminuiu a concentração de CPT nas raízes laterais próximo de 21%. Contrariamente, o sombreamento S27 com alagamento aumentou a concentração próximo de 54% comparado com o controle não alagado e não sombreado.

Plântulas cultivadas em sombreamento estariam em ambiente menos estressante em razão dos maiores aumentos na altura do caule, no número de folhas, na produção de biomassa do caule. Portanto, plântulas de *C. acuminata* parecem crescer melhor na sombra.

As respostas na concentração de CPT (sombreamento e alagamento) são obviamente diferentes nas folhas, caules e raízes laterais. O sombreamento e o alagamento não alteraram a concentração de CPT no caule, enquanto as folhas e raízes laterais responderam quanto a CPT. A CPT do caule parece insensível ao sombreamento e alagamento. As folhas e as raízes, ao contrário, são sensores das plântulas na detecção de mudanças na atmosfera e no solo. A concentração de CPT nas folhas aumentou mais que 50% no sombreamento S67 e mais que dobrou no S67 de sombreamento com alagamento. Contrário ao modelo de resposta nas folhas, o S67 causou baixa concentração de CPT nas raízes laterais, nos sombreamentos S27 e S67. No sombreamento as folhas eram mais largas, mais delgadas e mais verdes como em macieira e cerejeira (LIN, CARPENTER & CONSTANTIN, 1997). Em *C. acuminata* também foram observadas folhas mais delgadas e mais verdes no

encontrada nas raízes laterais com sombreamento S67 em luz solar total, mas alagado.

A maior mudança na concentração de CPT causado pelo sombreamento ou alagamento ocorreu nas folhas e raízes laterais, mas essas mudanças foram em direção oposta. Embora o leve sombreamento S27 tenha causado apenas pequena mudança na concentração de CPT nas folhas, o sombreamento S67 aumentou a concentração de CPT em 55% sem a influência do alagamento ou próximo de 123% quando alagado. Em contraste, o sombreamento S67 sozinho diminuiu a concentração de CPT nas raízes laterais próximo de 42% e 33% quando alagado. O sombreamento sozinho diminuiu a concentração de CPT nas raízes laterais próximo de 21%. Contrariamente, o sombreamento S27 com alagamento aumentou a concentração próximo de 54% comparado com o controle não alagado e não sombreado.

Plântulas cultivadas em sombreamento estariam em ambiente menos estressante em razão dos maiores aumentos na altura do caule, no número de folhas, na produção de biomassa do caule. Portanto, plântulas de *C. acuminata* parecem crescer melhor na sombra.

As respostas na concentração de CPT (sombreamento e alagamento) são obviamente diferentes nas folhas, caules e raízes laterais. O sombreamento e o alagamento não alteraram a concentração de CPT no caule, enquanto as folhas e raízes laterais responderam quanto a CPT. A CPT do caule parece insensível ao sombreamento e alagamento. As folhas e as raízes, ao contrário, são sensores das plântulas na detecção de mudanças na atmosfera e no solo. A concentração de CPT nas folhas aumentou mais que 50% no sombreamento S67 e mais que dobrou no S67 de sombreamento com alagamento. Contrário ao modelo de resposta nas folhas, o S67 causou baixa concentração de CPT nas raízes laterais, nos sombreamentos S27 e S67. No sombreamento as folhas eram mais largas, mais delgadas e mais verdes como em macieira e cerejeira (LIN, CARPENTER & CONSTANTIN, 1997). Em *C. acuminata* também foram observadas folhas mais delgadas e mais verdes no

BIBLIOGRAFIA

- ACOCK, M.C.; LYDON, J.; JOHNSON, E.; COLLINS, R. Effects of temperature and light levels on leaf yield and cocaine content in two *Erythroxylum* species. **Annals of Botany**, v.78, p.49-53, 1996.
- ARNIM, A.V., DENG, X.W. Light control of seedling development. **Annual Review Plant Molecular Biology**, v.47, p.215-243, 1996.
- BJORKMAN, O. Responses to different quantum flux densities. In O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Ziegler (eds.), *Encyclopedia of plant physiology new series*, vol. 12 A, p.57-107. Springer-Verlag, Berlin. 1981.
- CANTORIA, M.; CUVEAS-GACUTAN, M.V. Studies on the physiology of Philippine mint (*Mentha cordifolia* Opiz.) 11. Effect of two different light intensities on the vegetative growth and oil yield. **Philipp. Sci.**, v.103, p.13-20, 1974.
- CLARK, R.J.; MENARY, R.C. Effects of photoperiod on the yield and composition of peppermint oil. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, v.104, p.699-702, 1979a.
- CLARK, R.J.; MENARY, R.C. Environmental effects on peppermint. I. Effects of day-length, photon flux density, night temperature and day temperature on yield and composition of peppermint oil. **Aust. J. Plant Physiol.**, v.7, p.685-692, 1980a.
- GABA, V., BLACK, M. The control of cell growth by light. In: **Encyclopedia of Plant Physiology**. New York: Springer-Verlag, 1983. p.359-400. v.16A.
- LI, Y.L.; CRACKER, L.E.; POTTER, T. Effect of light level on essential oil production of sage (*Salvia officinalis*) and Thyme (*Thymus vulgaris*). **Acta Hort.**, v.426, p.419-427, 1996.

NEUMAIER, E.E., BLESSINGTON, M.T. Effect of light and fertilizer rate and source on flowering, growth, and quality of hibiscus. **HortScience**, v.22, n.5, p.902-904, 1987.

NOBEL, P.S. Internal leaf area and cellular CO₂ resistance: photosynthetic implications of variations with growth conditions and plant species. **Physiologia Plantarum**, v.40, p.137-144. 1977.

PANDURO, A.M.R. **Análise do comportamento da alface** (*Lactuca sativa* L.), **sob diferentes condições de iluminamento**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. 129p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1986.

REDDY, K.R.; HODGES, H.F.; MCKINION, J. Modeling temperature effects on cotton internode and leaf growth. **Crop Sci.**, v.37, p.503-509, 1997.

ZEIGER, E., KENDRICK, R.E., KRONENBERG, G.H. (ed.). **Photomorphogenesis in plants**. Boston: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. p.391-413.

2. Efeitos de poda, adubação e pH no desenvolvimento de plantas medicinais

O crescimento da parte aérea está vinculado ao crescimento das raízes. Sendo refletido na relação massa da raiz/parte aérea secas, que é preditiva dos estádios de desenvolvimento (DAVIDSON, 1969) implicando em controle do crescimento acima e abaixo do solo. Esta regulação é reforçada pela evidência que a relação raiz/parte aérea é geneticamente ligada (MONYO & WHITTINGTON, 1970; McMICHAEL & QUISENBERRY, 1991) e que esta regulação retorna depois da constrição física das raízes (RICHARDS, 1981), depois de seca ou desfolhação (BLAIKIE & MASON, 1990), ou depois da extirpação de partes da parte aérea (BUTTROSE, 1966) ou extirpação de grande porção das raízes (BIDDINGTON & DEARMAN, 1984). Houve efeito da remoção 76% por peso do sistema radicular com 2 semanas de idade em plantas de cevada (*Hordeum vulgare* L. cv. Midas) na subsequente mudança na relação de massa seca raiz/ parte aérea. No final de 14 dias a pequena relação raiz/parte aérea inicial de raízes de plantas, podadas uma vez, aproximou mais daquelas de plantas podadas. Efeitos similares foram observados na temperatura aumentada (16 °C) e no resfriamento (8 °C). A regulação raiz/parte aérea é marcante, e algumas vezes é controlada pelo ambiente ao redor das raízes, por exemplo, aumento na salinidade (KUIPER et al., 1990), ou restrição de nitrogênio ou fósforo exógeno a ponto de inibir a parte aérea mais do que raízes (HUNT, 1975). Condições estressantes do solo influenciam mudanças morfológicas na parte aérea tais como curvatura epinástica foliar, senescência foliar, formação de raízes adventícias, fechamento estomático, concomitante à perda na matéria seca (JACKSON, 1993).

Há tendência em manter a relação entre massa da raiz seca e parte aérea. Quando parte da raiz ou parte aérea é removida (por pastagem, por exemplo), as plantas tendem a compensar retornando à relação raiz/parte aérea característica da espécie. BROUWER & DEWIT (1969) removeram metade do sistema radicular de plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) então as raízes aceleraram o respectivo

crescimento até a relação raiz/parte aérea retornar ao padrão da espécie. Ao removerem a parte aérea encontraram reação similar na parte aérea até que a relação original raiz/parte aérea fosse atingida.

A homeostase refletida na relação raiz/parte aérea resulta do equilíbrio funcional entre as duas partes mas há pouca concordância nos mecanismos envolvidos (LAMBERS, 1983). Muitos consideram que o CO₂ fixado nas folhas, água e sais minerais absorvidos pelas raízes devem ser balanceados entre si (BROUWER, 1983). Que o número de meristemas de crescimento determina a relativa força do dreno destas duas partes da planta também tem sido proposto.

2.1. Crescimento de raízes e parte aérea de *Taraxacum officinale* em função do desfolhamento, cultivo orgânico e hidropônico

O extrato de raízes de dente-de-leão (*Taraxacum officinale* Web.), (Cichoriaceae), é conhecido pela forte ação diurética. É conhecido também por ser valiosa fonte de vitamina do complexo B, vitamina A, C, ácido linolênico, lecitina e inulina. Há interesse farmacológico em aumentar a produção das raízes com alto conteúdo de inulina e de substâncias amargas.

A matéria prima do dente-de-leão é proveniente da coleta de plantas silvestres, onde a produção de raízes e a qualidade tem grande variabilidade. Devido ao aumento do interesse por produtos orgânicos, programas de pesquisa visam estabelecer a produção orgânica de plantas medicinais. Entretanto, há carência de pesquisa de base científica avaliando a produção de plantas medicinais e em particular de dente-de-leão. A agricultura orgânica e o sistema de produção exclui o uso de reguladores de crescimento, herbicidas e pesticidas. Entre diversas práticas a poda dos botões florais ou desfolhamento interferem com a produtividade das plantas (LETCHAMO & GOSSELIN, 1995).

As plantas jovens do dente de leão são destinadas ao consumo fresco em saladas, e há colheita de raízes destinadas ao

processamento. Não foram encontrados trabalhos científicos publicados sobre essas práticas na produção de raízes de dente de leão.

LETCHAMO & GOSSELIN (1995) avaliaram a influência na produção de raízes, de parte aérea e conteúdo de clorofila em plantas de dente-de-leão de três origens (Laval-1, Munchen e RH-96) em cultivo hidropônico e orgânico submetido a desfolhamento e a retirada de botões florais.

2.1.1. Crescimento de raízes

Houve diferença no conteúdo da massa das raízes secas entre cultivo hidropônico e orgânico. Significativamente maior massa das raízes produzidas por *T. officinales* foi obtido no cultivo em meio hidropônico (P0,001). Entretanto, a maior produção de massa (44,4 g por planta) de raízes secas foi obtida do cultivo hidropônico de 'Laval-1'. No cultivo orgânico, 'RH-96' produziu mais massa de raiz seca (30,2 g por planta) No cultivo hidropônico as raízes eram mais compridas, mais finas do que aquelas cultivadas organicamente. O diâmetro das raízes cultivadas hidroponicamente variou entre 1,3 mm e 28,0 mm, enquanto nas plantas orgânicas foi 1,2 mm a 4,6 cm. A poda dos botões florais em plantas cultivadas hidroponicamente, aumentou a matéria seca de raízes. O desbaste dos botões aumentou significativamente a produção de raízes no cultivo hidropônico. LETCHAMO & GOSSELIN, 1995, também relatam que o desfolhamento de *Valeriana officinalis* aumentou a matéria seca de raízes de 1,13 até 2,23 toneladas por hectare, enquanto o conteúdo de óleo essencial aumentou de 0,44% até 0,51%. A remoção dos botões florais parece induzir o crescimento de raízes porque a energia não é usada no desenvolvimento das flores. Em adição, os hormônios que são importantes na iniciação do florescimento podem ter sido deslocados até as raízes devido a poda dos botões florais. Tal fenômeno é também conhecido outras plantas (LETCHAMO & GOSSELIN, 1995).

2.1.2. Crescimento da parte aérea

Houve diferenças na produção de matéria seca da parte aérea entre os dois meios de cultivo ($P < 0,01$). Folhas mais largas e flores foram produzidas no cultivo hidropônico, O desfolhamento reduziu a produção de brotos, que correspondeu a menor produção de raiz. A relação crescimento da parte aérea/raiz foi modificada pelo ambiente, pelo desfolhamento e pela poda dos botões florais. A relação parte aérea/raiz variou de 4,2 até 1,3 no cultivo hidropônico e 2,7 até 1,1 no cultivo orgânico. A poda dos botões florais de dente-de-leão pode ser útil não apenas no aumento da produção de raízes, mas também visando melhorar a qualidade do produto.

Tabela 6. Efeito do meio de crescimento, desfolhamento e poda dos botões florais na produção de massa seca da raiz (g/planta) de três variedades de dente-de-leão. Adaptado de LETCHAMO & GOSSELIN, 1995.

Meio de crescimento	Origem	Tratamento		
		Controle	Desfolhamento	Poda dos botões florais
Hidropônico	Laval-1	19,2 ± 5,2	11,9 ± 2,1	44,4 ± 5,3
	Munchen	19,2 ± 4,6	10,1 ± 1,9	34,8 ± 4,8
	RH-96	19,5 ± 4,8	13,6 ± 2,0	35,1 ± 4,9
	Média	19,3	11,9	38,1
Orgânico	Laval-1	21,2 ± 4,6	7,5 ± 1,6	28,7 ± 5,7
	Munchen	22,2 ± 5,0	8,2 ± 2,3	29,9 ± 4,2
	RH-96	21,6 ± 3,8	7,1 ± 1,4	30,2 ± 3,6
	Média	21,7	7,6	29,6

Tabela 7. Efeito do meio de crescimento, desfolhamento e poda dos botões florais na produção de massa da parte aérea (g/planta) seca e na relação parte aérea/raiz de três variedades de dente-de-leão. Adaptado de LETCHAMO & GOSSELIN, 1995.

Meio de crescimento	Origem	Tratamento					
		Controle		Desfolhamento		Poda dos botões florais	
		g/planta	Brote/raiz	g/planta	Brote/raiz	g/planta	brote/raiz
Hidropônico	Laval-1	63 ± 7,6	3,8	15 ± 3,2	2,1	40 ± 6,2	1,1
	Munchen	71 ± 6,4	4,2	20 ± 5,3	3,0	36 ± 3,8	1,3
	RH-96	80 ± 9,0	4,6	15 ± 4,0	1,8	39 ± 5,0	1,4
	Média	71	4,2	17	2,3	38	1,3
Orgânico	Laval-1	43 ± 6,6	2,5	11 ± 3,0	2,8	27 ± 4,2	1,3
	Munchen	52 ± 7,2	2,8	10 ± 3,4	2,4	21 ± 3,9	1,0
	RH-96	52 ± 7,2	2,9	9 ± 2,6	2,7	24 ± 4,7	1,1
	Média	49	2,7	10	2,6	24	1,1

2.2. Produção do alcalóide ergotina da *Festuca arundinacea* Schreb

A simbiose mutualística entre gramínea *Festuca arundinacea* e o fungo endofítico *Neotyphodium coenophialum* Morgan-Jones e Gams (Glenn, Bacon, Price e Hanlin comb. Nov.) tem sido explorada (BELESKY & HILL, 1997). O mutualismo resulta no aumento da tolerância à seca, aumento da brotação e da massa da pastagem, e reduz ataque de herbívoros (WEST & GWINN, 1993).

O desempenho das plantas pode ser prejudicado pela infecção do fungo endofítico na *F. arundinacea*. A causa pode estar associada com a ocorrência de alcalóide e em particular a ergotina (BELESKY & HILL, 1997). A quantidade do alcalóide em *F. arundinacea* pode ser influenciada por condições ambientais (como estresse hídrico, cultivo, quantidade de nitrogênio, manejo da pastagem), assim como fatores associados com a idade foliar (BELESKY & HILL, 1997). A associação específica de hospedeiro endofítico também varia a produção do alcalóide ergotina (BELESKY & HILL, 1997).

A produção de alcalóide é função do nutriente nitrogênio (N) e da energia prontamente disponível, na forma de carboidrato não estrutural, suplementada pelo hospedeiro. Fungos endofíticos alteram a distribuição de N da planta causando déficit na lâmina foliar (BELESKY & HILL, 1997). O acúmulo de carboidrato (não estrutural) em plantas estressadas por seca e infectadas por fungos endofíticos seria precursor de alcalóide. A produção de matéria seca e produção de alcalóide podem estar ligadas à concentração de N e de + NC carboidrato não estrutural no tecido foliar (BELESKY & HILL, 1997).

BELESKY & HILL (1997), determinaram a influência do desfolhamento na produção e distribuição do alcalóide ergotina em duas linhagens de *Festuca arundinacea* com distinta diferença na capacidade de produção do alcalóide. Foi caracterizada a relação do carboidrato não estrutural e a concentração de nitrogênio com a síntese de alcalóide determinando a influência da idade foliar sobre a concentração e distribuição do alcalóide ergotina.

2.2.1 Concentração do alcalóide ergotina

A concentração de ergotina variou de 1g.g^{-1} a aproximadamente 5g.g^{-1} nas folhas coletadas e no pseudocaule sendo maior na linhagem não infectada (DN11) do que na linhagem endofítica infectada (Dn2).

O tecido do pseudocaule continha duas vezes mais alcalóide do que a lâmina foliar enquanto, no tecido foliar residual a concentração foi intermediária. A distribuição nos tecidos em DN2 e DN11 foi similar à relatada por BELESKY & HILL, 1997. A concentração de ergotina refletiu a localização do micélio endofítico no pseudocaule como detectado por BELESKY, & HILL, 1997.

Algum teor foi deslocado do pseudocaule às porções basais da lâmina foliar. A concentração do alcalóide pode ser modificada pelo manejo e pela associação do hospedeiro endofítico. Plantas não podadas tinham concentração da ergotina similar ou ligeiramente menor que plantas podadas. A concentração nas folhas foi aproximadamente 33% daquela encontrada no pseudocaule de plantas não podadas.

2.2.2 Rendimento de ergotina

A produção de alcalóide (concentração de alcalóide x matéria seca) foi maior no pseudocaule, primariamente por causa do micélio endofítico no pseudocaule, enquanto a produção nos tecidos das folhas podadas foi mínima. A produção de ergotina nas folhas (residual e pseudocaule) de linhagem DN2 e DN11 foram maiores em 10 cm do que em 15 cm das plantas. O desfolhamento não influenciou a produção de alcalóides nos tecidos podados.

A produção de ergotina nas lâminas foliares e pseudocaule (plantas não podadas) foi pelo menos duas vezes a de plantas podadas.

2.2.3 Produção de ergotina

A produção de alcalóide declinou do pseudocaule às folhas. Plantas não podadas da linhagem (DN11) tinham maior produção do que DN2, mas a produção de plantas não podadas diminuiu em ambas linhagens. Plantas de DN2 podadas a 5 cm aumentaram a produção enquanto o manejo similar de plantas DN11 decresceram a produção.

A produção de alcalóide permaneceu estável em plantas podadas a 10 cm, indiferente da associação hospedeiro endofítico.

A produção no pseudocaule foi dependente da associação hospedeiro endofítico e foi influenciada pela interação do nitrogênio (N) com a (TNC) concentração de carboidrato não estrutural. A produção em DN2 foi baixa quando TNC foi baixo (5 g/ 100 g), indiferente da concentração de N, e aumentou quando TNC aumentou. O teor de N interagiu com TNC na produção, geralmente aumentando-a quando N e TNC aumentaram. A produção em DN11 aumentou quando N e TNC aumentaram, e não foi limitada por TNC. A produção aumentou com o aumento de N mais do que três vezes no mais alto teor de TNC em DN11. O modelo refletiu a diferença em N entre DN2 e DN11 observado por BELESKY & HILL, 1997.

Alto N frequentemente coincide com baixo TNC em gramíneas, como resultado do regime de desfolhamento, condições de crescimento, e estágio de desenvolvimento da planta. Sendo regular e intensivo, o desfolhamento poderia exaurir TNC em novas folhas (BELESKY & HILL, 1997).

2.2.4 Efeito da idade da folha na ergotina

A associação hospedeiro endofítico e idade foliar influenciou na massa foliar, na concentração de ergotina e no rendimento do alcalóide. A distribuição da massa foliar por idade foliar foi similar ($P > 0,05$) em DN2 e DN11. Folhas velhas com mais de 6 semanas de idade contribuíram com a maior quantidade. A produção de ergotina variou entre as idades de folhas em DN2 e DN11. Folhas mais velhas (mais de 6 semanas de idade) de DN2 e DN11 tinham a menor concentração de ergotina, enquanto folhas com 2 a 4 semanas tinham a maior concentração e rendimento. Folhas com mais de 6 semanas foram as primeiras a desenvolverem e diferenciarem (lamina, bainha e nó). A idade foliar influenciou a concentração de ergotina em DN2 e foi similar àquela relatada do alcalóide lolina em *Festuca* e peramine em azevém perene (*Lolium perenne* L.). Plantas de DN11 tinham a maior concentração de ergotina do que DN2, indiferente da idade da folha (BELESKY & HILL).

O desfolhamento repetido reduz a produção de alcalóide em todas as partes. Desde que a concentração de N e TNC pode ser influenciada pelo desfolhamento e linhagem hospedeira, a taxa de produção do alcalóide pode responder ao manejo. Assim, a produção do alcalóide pode ser estimada em função do desfolhamento e da associação do hospedeiro endofítico. O regime de manejo que capacita a planta acumular TNC pode conduzir a produção de ergotina.

2.3. Substrato e solução nutritiva do cultivo orgânico de plantas medicinais transplantadas

Há crescente interesse de consumidores no cultivo orgânico de plantas medicinais. Na produção de algumas espécies medicinais, ocorre o transplante em viveiros e mais tarde o transplante no campo. Bandejas multicelulares são usadas na preparo de mudas de muitas espécies hortícolas. Nenhuma diretriz na produção orgânica de mudas de espécies medicinais em multicelulas foi proposta.

A adição de 20 a 50 por cento de composto melhora as propriedades físicas e químicas do substrato das bandejas multicelulares. (LAMANNA et al., 1991; MELBY & WILLUMSEN, 1993), mas a quantidade ótima adicionada deve ser determinada em cada espécie (LAMANNA et al., 1991).

HERRERA et al. (1997) avaliaram o crescimento e a composição mineral dos tecidos das plantas medicinais (*Marroio-branco* L), tomilho (*Tymus vulgaris* L.) e angelica (*Angelica archangelica* L.), cultivados em solução nutritiva com condutividade elétrica (CE) de 0, 1 e 2 mmho/cm e em composto (0, 15, 30, 45 e 60%).

A massa da parte aérea seca teve resposta linear ao aumento da CE, incrementando próximo de 83 por cento em angélica (tabela 9) e 189 por cento em tomilho (Tabela 10), quando a CE da solução foi de 0 a 2 mmho/cm. A massa das raízes secas de tomilho teve resposta quadrática ao aumento da (CE). A variação na percentagem do composto teve efeito linear e quadrático sobre a massa de raízes secas, respectivamente na angélica e no tomilho. Em Angélica houve aumento de 106% e 71% na parte aérea e raízes, respectivamente, quando o composto aumentou de 0 até 30%. A massa de tomilho seco declinou quando a percentagem do composto atingiu 60%.

No meio com 0,15 ou 0,30% de composto, a massa da parte aérea seca e de raízes das plantas de marroio-branco aumentou quando a CE cresceu. A massa da parte aérea seca das plantas cultivadas com 30% do composto (com CE de 2 mmho/cm) foi 472% maior do que a massa da parte aérea seca de plantas crescidas com

30% de composto (CE 0 mmho/cm) e 65% maior em plantas cultivadas sem composto (CE de 2 mmho/cm). A massa das raízes secas foi 50% e 43% maior, na mesma comparação.

2.3.1 Composição mineral

A percentagem de composto e CE teve efeito significativo na composição mineral das folhas. Estes efeitos variaram com a espécie, embora as duas espécies tivessem a maior concentração de nutrientes com a aplicação combinada de compostos e nutrientes.

Tabela 8. Caracterização química dos tratamentos.

Fertilizante ¹	CE	pH	N	P	K	Ca	Mg
	(mmho/cm)		----- (mg/L) -----				
1	0	6,9	0	0	4	27	5
2	1	6,2	47	8	180	49	20
3	2	5,6	99	15	348	76	35

Composto							
(%)							
0	0,3	4,4	3	1	10	21	6
15	0,2	4,5	3	1	11	18	5
30	5,0	5,5	333	64	760	220	78
45	8,2	5,6	659	77	1460	432	168
60	11,9	5,5	1011	95	2035	673	270

¹Solução usada na fertirrigação foi feita de composto líquido (1kg composto/8-10 litro de água de torneira) com condutividade elétrica ajustada ao valor indicado.

CE = Condutividade elétrica.

Tabela 9. Efeito do composto e da condutividade elétrica no crescimento da parte aérea (P.A.) em raízes de angélica (*Angelica archangelica* L.)

Composto (%)	CE (mmho/cm)	Crescimento P.A. (mg matéria seca/planta)	Crescimento raiz (mg matéria seca/planta)
0	0	35	58
	1	152	108
	2	232	91
15	0	151	143
	1	253	137
	2	340	137
30	0	238	183
	1	272	130
	2	354	128
45	0	222	139
	1	311	156
	2	338	118
60	0	193	101
	1	256	130
	2	271	8

Tabela 10. Efeito do composto e da condutividade elétrica no crescimento da parte aérea e raiz de tomilho (*Tymus vulgaris* L.).

Composto (%)	CE (mmho/cm)	Crescimento P.A. (mg matéria seca/planta)	Crescimento raiz (mg matéria seca/planta)
0	0	3	3
	1	32	8
	2	43	7
15	0	20	13
	1	52	17
	2	74	13
30	0	23	12
	1	62	18
	2	89	13
45	0	56	18
	1	73	17
	2	95	14
60	0	28	15
	1	74	13
	2	76	11

2.4. Características do crescimento e composição química das plantas de *Leucojum aestivum* L.

O interesse mundial na planta medicinal *Leucojum aestivum* L. tem aumentado. A possibilidade de cultivo é limitada a poucos países no mundo. Esta planta requer solo neutro, rico em matéria orgânica visando a produção do princípio ativo “galantamina”. Nas regiões perto do mar, o conteúdo de galantamina das plantas é mais alto do que nas plantas cultivadas nas áreas centrais (GORINOVA, ATANASSOV & STOJANOV, 1995), provavelmente pelas condições de umidade ao longo da orla marítima e outros fatores que contribuem com a síntese de galantamina.

GORINOVA et al. (1995) determinou a composição química (macro e microelementos) bem como o conteúdo de galantamina em plantas nativas de três áreas: I- onde é alto o conteúdo de galantamina nas plantas, II- conteúdo médio, III- conteúdo baixo de galantamina nas plantas.

O conteúdo de nitrogênio (N) nas plantas nas três áreas naturais (Tabela 1) não diferiu significativamente. Em todos os órgãos de *L. aestivum* destas regiões, o nitrato livre não foi encontrado indicando atividade da enzima responsável pelo metabolismo do nitrogênio. O maior conteúdo de N total foi encontrado nas folhas e caules, o intermediário nas raízes e o menor nos bulbos.

O alto conteúdo de compostos orgânicos no solo e a ótima umidade nestas regiões mobilizou os constituintes nitrogenados responsáveis pela alta produção de massa vegetativa.

A concentração de fósforo (P) foi maior nas plantas com alto e médio conteúdo de galantamina. O pH neutro do solo (GORINOVA et al., 1995) é favorável a maior assimilação de P, acumulando principalmente nas folhas e caules e menos nas raízes e bulbos. O mesmo modelo quanto ao conteúdo de potássio (K) do solo (82 mg/100g, área I) (GORINOVA et al., 1993) coincide com o maior

conteúdo de galantamina. Significa que o K é útil no ótimo crescimento de *L. aestivum*.

As ótimas condições de crescimento que propiciam matéria prima de *L. aestivum* com alto conteúdo de galantamina, foram encontradas em regiões com boa umidade do ar, e rico em matéria orgânica.

A composição química das folhas poderia ser o critério de diagnóstico combinado com a composição química do solo desde que exista ótima relação N, P e K. Em adição, alto conteúdo de Na, B, Cl e SO₄ em *L. aestivum* indica aparente salinidade causando má qualidade da matéria prima. Portanto, os plantios comerciais de *L. aestivum*, devem ser na área I, ou seja, onde é alto o conteúdo de galantamina nas plantas.

Tabela 11. Conteúdo de galantamina e macronutrientes de *Leucjum aestivum* L. Adaptado de GORINOVA, ATANASSOU, STAJANOV 1995.

Região	Órgão da pls	G ¹ (%DW)	N	P	K	Na(%)	Ca	Mg
I (HGC)*	Folha	0,66	3,11	0,38	2,30	0,02	1,11	0,18
	Caule	-	3,08	0,28	2,05	0,01	0,94	0,18
	Bulbo	0,47	1,17	0,10	0,45	0,02	1,32	0,09
	Raiz	-	2,47	0,20	2,38	0,10	0,70	0,31
II (MGC)	Folha	0,40	2,91	0,39	1,88	0,02	2,03	0,31
	Caule	-	2,72	0,27	1,25	0,01	1,11	0,18
	Bulbo	0,33	1,19	0,15	0,45	0,01	1,50	0,10
	Raiz	-	2,21	0,29	1,18	0,07	1,04	0,46
III (LGC)	Folha	0,33	3,00	0,28	2,93	0,05	1,50	0,25
	Caule	-	2,79	0,24	2,33	0,06	1,69	0,15
	Bulbo	0,14	0,81	0,13	0,45	0,07	1,58	0,11
	Raiz	-	2,07	0,24	1,88	0,57	0,62	0,57

G¹ galantamina, HGC alto conteúdo galantamina, MGC médio conteúdo galantamina e LGC baixo conteúdo galantamina, DW- Massa da Matéria Seca

Tabela 12. Conteúdo de microelementos de *Leucojum. aestivum* L.
Adaptado de GORINOVA, ATANASSOU, STAJANOV 1995.

Regiões	Órgão das plantas	Zn	Cu	Mn	Fe	Al	B	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
		[mg/kg]						[mg eqv/100g]	
I (HGC)*	Folha	35	6	30	150	60	12,3	17,3	3,0
	Caule	24	4	18	260	120	11,6	-	-
	Bulbo	27	7	13	80	150	8,7	1,02	3,0
	Raiz	65	35	94	-	-	-	-	-
II (MGC)	Folha	39	12	43	230	200	12,0	24,0	4,5
	Caule	27	19	22	210	260	10,2	-	-
	Bulbo	22	16	15	170	210	5,2	1,3	4,5
	Raiz	90	93	74	-	-	-	-	-
III (LGC)	Folha	36	13	27	140	185	18,2	55,3	20,1
	Caule	31	14	19	150	220	14,6	-	-
	Bulbo	30	11	15	235	205	19,2	2,3	12,0
	Raiz	95	54	163	-	-	-	-	-

BHGC alto conteúdo galantamina, MGC médio conteúdo galantamina e LGC baixo conteúdo galantamina, DW- Massa da Matéria Seca

2.5. Seleção de variedades de hortelã (*Mentha arvensis*) visando alta produção de biomassa e óleo essencial (com mentol) em plantas tardias sub-tropicais

A hortelã (*Mentha arvensis*), espécie utilizada na produção de matéria prima industrial é cultivada em área semi-temperada de diversos países visando o óleo essencial hidrolisado. O 1-mentol cristalizado, o óleo essencial desmetiolado e outros monoterpenos fracionados do óleo desmetiolado são produtos comerciais usados na indústria de alimentos, farmacêutica e cosmética. China, Índia, Brasil, Japão, França e USA são os principais países produtores de *M. arvensis*. O cultivo de *M. arvensis* tem tido aumento constante na Índia (KUMAR et al., 1999).

No agroclima subtropical da parte nordeste da Índia onde o cultivo de *M. arvensis* é comum. A colheita dos brotos é feita em janeiro/fevereiro permitindo-se o crescimento até junho/julho com nova colheita viabilizando a destilação de seu óleo essencial. O período de cultivo sobrepõe-se com o cultivo de batata, mostarda, grão-de-bico e trigo (KUMAR et al., 1999). A rotação de culturas da hortelã com mostarda, grão-de-bico e trigo permite maior renda aos agricultores.

No norte da Índia os plantios seguem a colheita do arroz, milho ou soja. O cultivo de hortelã pode ser aumentado por dois métodos: **i)** pelo semeio de brotos no solo ou **ii)** pelo transplante de brotos germinados. O método de brotos semeados é apropriado em janeiro/fevereiro e junho/julho. O método de transplante pode ser adotado em cultivos após a colheita de espécies alimentícias (KUMAR et al., 1999).

KUMAR et al. (1999) compararam a produção de óleo essencial objetivando identificar o variedade apropriada ao plantio subsequente de espécies alimentícias. Alta produção de hortelã foi obtida pelo transplante tardio nas primeiras semanas de abril. A variedade mais apropriada tem sido a Kosi.

As características das setes variedades de *M. arvensis* incluídas no estudo de KUMAR et al. (1999) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 13. Origem e características das variedades de hortelã (*Mentha arvensis*). Adaptado de KUMAR, BAHL, SHUKLA, SINGH-RAM, BANSAL e SHARMA, 1999.

Variedades	Características	Origem / referência
MAS-1	Anã, parte aérea fechada, caule medianamente grosso, folhas verde claro; menor produção de óleo com alto conteúdo de menthol (82-86%); folhas resistentes a ferrugem e susceptíveis a mancha das folhas e mildio.	Variação somática do acesso MA-3 da Tailândia Anon et al., 1983.
Kalka	Altura média, parte aérea fechada, caule grosso, folhas finas verde claro; menor produção de óleo com alto conteúdo de menthol (78 – 82%); folhas resistentes a ferrugem e alternária, tolerante a mancha das folhas e susceptível ao mildio.	Isolado da semente de progênie de MA-3 linhas parente, Anon., 1985.
Shivalik	Alta, parte aérea cônica, caule grosso e lenhoso, folhas verde escura; alta produção de óleo com menor conteúdo de menthol (70-74%); susceptível a ferrugem, alternária e doença da mancha das folhas e tolerante ao mildio.	Introdução da China; Kumar et al., 1997.
Gomti	Alta, caule medianamente grosso e lenhoso, folha longa verde escura; média produção de óleo com menor conteúdo de menthol (70-74%); melhor regeneração pós-colheita; folhas susceptíveis a ferrugem, alternária e mancha das folhas e tolerante ao mildio.	Descendente de Shivalik; Kumar et al., 1994.
S-194	Alta; caule medianamente grosso, folha verde amarelado; média produção de óleo com conteúdo de menthol (74-78%); folhas resistentes a ferrugem e alternária, tolerante ao mildio e a doença da manchas das folhas..	Descendente de Shivalik.
Himalaya	Alta; copa e caule medianamente largos; folhas grandes, espessas, profundamente coriácea com pestiolo grande; melhor regeneração depois de colhida; alta produção de óleo; com médio conteúdo de menthol (74-78%); folhas resistentes a ferrugem e alternária. Tolerante a mancha das folhas e mildio.	Híbrido de Gomti e Kalka; Kumar et al., 1997.
Kosi	Alta; copa fechada arbustiva; caule medianamente grosso; folhas verde amarelada; alta produção de óleo com médio conteúdo de menthol (74-78%); folhas resistentes a ferrugem e alternária, tolerante a mancha das folhas e ao mildio.	Descendente de Kalka; Kumar et al., 1998.

Entre as setes variedades de hortelã (*Mentha arvensis*) destinadas a produção de mentol a "Kosi" foi a mais produtiva em óleo essencial pelo método de transplante tardio sendo a produção de óleo essencial 333 kg (ha⁻¹). A redução da produção foi 12% e 33% no transplante de pedaços de brotos germinados em 14 de março e 14 de abril, respectivamente.

Tabela 14. Produção de óleo essencial e características qualitativas de variedades de *Mentha arvensis*. Adaptado de KUMAR, BAHL, SHUKLA, SINGH, RAM, BANSAL e SHARMA, 1999.

Variedades	Altura (cm)	Raiz/pa	óleo (%)	Pr. Bm q ha ⁻¹	Pr. Óleo kg ha ⁻¹	Mentol (%)	Pr. M. kg ha ⁻¹
Kosi	70	1,0	0,81	381	278	75	209
Himalaya	72	1,2	0,71	408	255	75	192
S-194	65	0,8	0,73	368	238	75	178
Kalka	52	1,4	0,74	300	198	79	156
Gomti	71	0,9	0,55	401	198	70	138
Shivalik	66	1,2	0,65	298	173	76	131
MAS-1	40	1,5	0,65	232	134	80	107
Média	62	1,2	0,69	341	211	76	159
SE	5	0,1	0,03	25	19	1	14
CV	9	19,8	12,10	18	20	4	20
5%	4	0,16	0,06	45	31	2	23
1%	6	0,22	0,08	60	41	3	30

Tabela 14. Produção de óleo essencial e características qualitativas de variedades de *Mentha arvensis*. Adaptado de KUMAR, BAHL, SHUKLA, SINGH, RAM, BANSAL e SHARMA, 1999.

Variedades	Altura (cm)	Raiz/pa	óleo (%)	Pr. Bm q ha ⁻¹	Pr. Óleo kg ha ⁻¹	Mentol (%)	Pr. M. kg ha ⁻¹
Kosi	70	1,0	0,81	381	278	75	209
Himalaya	72	1,2	0,71	408	255	75	192
S-194	65	0,8	0,73	368	238	75	178
Kalka	52	1,4	0,74	300	198	79	156
Gomti	71	0,9	0,55	401	198	70	138
Shivalik	66	1,2	0,65	298	173	76	131
MAS-1	40	1,5	0,65	232	134	80	107
Média	62	1,2	0,69	341	211	76	159
SE	5	0,1	0,03	25	19	1	14
CV	9	19,8	12,10	18	20	4	20
5%	4	0,16	0,06	45	31	2	23
1%	6	0,22	0,08	60	41	3	30

2.6. Produção de biomassa, pH do solo e wedelolactona em *Eclipta alba*

Eclipta alba (L.) Hassk. (Asteraceae), erva anual pequena e ramificada, é nativa das regiões tropicais e subtropicais do planeta.

É invasora de cultivos tais como arroz, ervilha e soja. O isolamento de dois compostos tipo cumestanos, com atividade anti-hepatotóxico da planta, wedelolactona e dimetilwedelolactona, a tem convertido de invasora a planta útil. Na Índia, é usada no tratamento do vírus da hepatite (promove o fluxo de bÍlis) e como colagoga (PEREIRA et al., 1998).

O sucesso na produção de fitofármaco de *Eclipta alba* depende de estudos agrônômicos que propiciem o cultivo da planta em larga escala.

Por exemplo, investigação do efeito do pH do solo na produção de metabólito secundário e acumulação de biomassa é fundamental ao cultivo. De acordo com PEREIRA et al., 1998, espécies tolerantes a solos ácidos (*Arnica e Polypodium*), e espécies que aparentam exigir condições alcalinas: (*Primula, Adonis e Hyssopus*) são conhecidas. Poucos estudos sobre o pH do solo relacionado a acumulação de constituintes químicos, tem sido publicados.

PEREIRA et al. (1997) analisou o efeito do pH do solo (4,2; 5,2 e 5,6) no desenvolvimento vegetativo e na produção de wedelolactona e dimetilwedelolactona no cultivo de *Eclipta alba*. Embora o crescimento da planta aumentasse quando o pH do solo foi maior, o pH do solo não afetou significativamente o desenvolvimento vegetativo de *Eclipta alba* dentro da faixa de pH testados (Tabela 15). Pela análise química das raÍzes e extrato do tecido vegetativo a wedelolactona foi primariamente concentrada no tecido vegetativo (Tabela 16). O aumento no pH do solo de 5,2 até 5,6 não aumentou significativamente a concentração de wedelolactona nas raÍzes quando comparado com o controle pH 4,2.

A concentração de wedelolactona e dimetilwedelolactona no tecido vegetativo diminuiu pelo aumento do pH do solo. Nenhuma diferença significativa no dimetilwedelolactona foi notada com mudanças no pH do solo.

Tabela 15. Efeito do pH do solo no desenvolvimento vegetativo de *Eclipta alba*. Adaptado de PEREIRA, BERTONI, MENEZES PEREIRA e FRANCA 1998.

Tratamento pH	Altura de planta Cm	Desenvolvimento		Compr. raiz mm	Tecido das plantas			
		Brotos Nº /planta	Folhas		Parte aérea		Raiz	
					gF.Wt.	gD.Wt.	gF.Wt.	gD.Wt.
4,2	66,4±10,7	2,6±0,6	55,3±5,3	360,3±32,9	19,5±4,2	2,6±0,6	5,0±1,1	0,78±0,16
5,2	79,0±8,7	3,2±0,7	65,8±8,2	443,3±65,7	25,7±5,8	3,5±0,6	5,5±1,0	0,85±0,18
5,6	79,2±12,9	3,2±0,6	66,2±9,7	460,2±59,6	23,7±4,9	3,4±1,0	5,5±1,5	0,84±0,20

Tabela 16. Efeito do pH do solo na concentração de cusmetano em *Eclipta alba*. Adaptado de PEREIRA, BERTONI, MENEZES, PEREIRA e FRANCA 1998.

Tratamento pH	Wedelolactona		Dimetilwedelolactona	
	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea
	-----mg/g D.Wt.-----		-----mg/g D.Wt.-----	
4,2	5,6 ± 0,9	238,5 ± 58,3	224,1 ± 73,8	55,0 ± 9,7
5,2	14,1 ± 4,1	150,4 ± 14,3	270,9 ± 21,7	53,8 ± 10,1
5,6	151,0 ± 2,8	176,1 ± 57,0	262,4 ± 41,3	34,1 ± 13,1
Produção no campo	264,5 ± 23,6	556,0 ± 94,3	855,8 ± 79,3	12,6 ± 2,4

BIBLIOGRAFIA

BELESKY, D.P.; HILL, N.S. Defoliation and leaf age influence on ergot alkaloids in Tall Fescue. **Annals of Botany**, v.79, p.259-264, 1997.

GORINOVA, N.I., ATANASSOV, A.L., STOJANOV, D.V. Characteristics of natural growing areas for *Leucojum aestivum* L. in Bulgaria based on chemical composition of plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.8, p.1705-1710, 1995.

HERRERA, E., TREMBLAY, N., DESROCHES, B., GOSSELIN, A. Otimization of substrate and nutrient solution for organic cultivation of medicinal transplants in multicell flats. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, v.4, n.4, p.69-82, 1997.

KUMAR, S., TYAGI, B.S., BAHL, J.R., KHANUJA, S.P.S., SHASANY, A.K., SHUKLA, R.S., SATTAR, A., SINGH, D., HASEEB, A., SINGH, V.P., RAM, P., SINGH, K., SINGH, S.P., PATRA, N.K., ALAM, M., NAQVI, A.A., RAM, M., AGARWAL, K.K., SINGH, K. Himalaya A high menthol yielding hybrid clone of *Mentha arvensis*. **Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences**, v.19, n.3, p.729-731, 1997.

LETCHAMO, W.; GOSSELIN, A. Root and shoot growth and chlorophyll content of *Taraxacum officinale* provenances as affected by defoliation and debudding under organic and hydroponic cultivation. **Journal of Horticultural Science**, v.70, n.2, p.279-285, 1995.

PEREIRA, A.M.S.; BERTONI, B.W.; MENEZES, A. Jr.; PEREIRA, P.S.; FRANCA, S.C. Soil pH and production of biomass and wedelolactone in field grown *Eclipta alba*. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, v.6, n.1, p.43-49, 1998.

3. Espaçamento e densidade de plantio

A população de plantas tem papel importante na produtividade das culturas, aumentando a sua importância à medida que a agricultura se torna dependente de insumos.

De todas as práticas e técnicas empregadas no aumento da produção, a densidade de plantio é das mais importantes. De modo geral, a baixa produtividade decorre do número insuficiente de plantas por unidade de área. A densidade de plantas poderá contribuir com o aumento de produtividade, quando outros fatores, tais como disponibilidade de água, nutrientes e o potencial genético da planta estejam em conformidade (EMBRAPA, 1993).

Nos solos férteis, com boa precipitação, ou em culturas irrigadas, altas produções são obtidas aumentando-se o número de plantas por área. Entretanto, em regiões sujeitas a secas e de pouca fertilidade, as melhores produções são verificadas com menor número de plantas por área (EMBRAPA, 1993).

Segundo GUITARD et al. (1961), o genótipo, a época de semeadura, o local de cultivo e o nível de fertilidade do solo, em especial do nutriente nitrogênio, influem de forma decisiva sobre os componentes de produção, sendo que o maior rendimento é obtido quando todos os componentes estão otimizados por ambiente.

O estudo da densidade envolve a competição entre as plantas e entre os perfilhos mesma planta pelos fatores água, luz e CO₂, os quais influenciarão no rendimento (TEIXEIRA, 1978).

Segundo HECKLER & SILVA (1980), as densidades menores proporcionam maior crescimento individual das plantas, tornando-as mais produtivas, enquanto, nas densidades maiores, a concorrência por luz e nutrientes com a planta vizinha, diminui a produção por planta.

3.1. Efeito do espaçamento de plantas e níveis de nitrogênio na produção de sementes de aneto

O Aneto (*Anethum graveolens* L.) é considerado erva anual aromática da Umbelliferae. Contém nas sementes de 2 a 4% de óleo essencial constituído de compostos terpênicos incluindo carvone (30 a 40%), D-limonene (30-40%), -phellandrene (15-20%) e outros compostos voláteis (RANDHAWA et al., 1996).

O óleo de aneto é usado nas indústria: farmacêutica, de perfumaria, de alimentos e condimentares.

RANDHAWA et al. (1996) analisaram, o espaçamento entre plantas (30, 45 e 60 cm) e quatro níveis de nitrogênio (0, 60, 90, 120 kg/ha) na produção de sementes de aneto. O espaçamento afetou a produção significativamente (Tabela 1). No espaçamento menor (30 cm) houve máxima produção de sementes (1014 kg/há) e foi semelhante ao espaçamento 45 cm (919 kg/há) e ambos foram significativamente mais produtivos que 60 cm. No espaçamento 45 cm foram produzidas 23% mais sementes do que em 60 cm.

Em outros estudos ramos foram afetados pelos vários espaçamentos entre fileira de plantas. Plantas espaçados 4,5 cm produziram o máximo número de ramos primário e terciário significativamente maiores que o número de ramos produzidos a 60 cm mas foi estatisticamente similar ao produzido no espaçamento 30 cm.

No espaçamento 10 cm entre plantas, foi produzido o máximo de sementes (984 kg/há) significativamente maior que 20 cm e no espaçamento contínuo (Tabela 17). O espaçamento não afetou a altura de planta e o número de umbelas por planta significativamente (Tabela 18). A altura de plantas, o número de umbela por planta e os ramos por planta não se alteraram nos espaçamentos entre plantas (Tabela 19).

3.1.2 Altura das plantas e número de umbelas

A aplicação de nitrogênio afetou a produção de sementes de aneto significativamente. A cada aumento de nitrogênio de 0 a 90 kg/ha houve aumento na produção de sementes significativamente (Tabela 17). Entretanto, a diferença na produção de sementes devido a 90 e 120 kg N/ha não foi significativa. O aumento na produção de sementes (tabela 17) foi devido ao efeito favorável da aplicação de nitrogênio nos caracteres de produção, como altura da planta, número de umbelas por planta, número de ramos primários, secundário e terciário, os quais foram aumentados com os níveis de nitrogênio de 0 a 90 kg N/ha.

A condição de máxima produção, foi no espaçamento 45 x 10 cm e suplementado com 90 kg de N/ha.

Tabela 17. Produção de sementes de aneto, espaçamento e níveis de nitrogênio. Adaptado de RANDHAWA, GILL, SAINI, JAGJIT SINGH. 1996

	Produção de sementes (kg/ha)			
	1993	1994	1995	Média
Espaçamento e Níveis de N entre linhas (cm)				
30	1214	1044	779	1014
45	1180	836	742	919
60	863	717	656	745
DMS (0,05)	225	104	Ns	99
Em Plantas (cm)				
Contínuo	1008	828	658	832
10	1228	912	812	984
20	1022	858	707	862
DMS (0,05)	Ns	Ns	Ns	99
Níveis de N (kg/há)				
0	783	427	431	547
60	1030	841	721	866
90	1308	1065	866	1079
120	1223	1131	885	1080
DMS (0,a5)	143	70	93	63

Dms= diferença mínima significativa

Ns= não significativa

Tabela 18. Altura final das plantas e número de umbelas por planta em espaçamentos e níveis de nitrogênio. Adaptado de RANDHAWA, GILL, SAINI, JAGJIT SINGH . 1996

	Altura de planta (cm)			Umbelas/planta		
	1993	1994	1995	1993	1994	1995
Espaçamento e Níveis de N entre linhas (cm)						
30	135	104	119	26	19	34
45	131	104	119	28	18	35
60	131	102	118	27	18	35
DMS (0,05)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Entre Plantas (cm)						
Contínuo	136	101	120	28	18	36
10	132	108	121	30	19	36
20	128	100	115	24	19	33
DMS (0,05)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Níveis de N (Kg/há)						
0	124	90	107	24	14	30
60	134	105	119	28	19	36
90	136	110	123	28	20	37
120	134	108	125	28	22	37
DMS (0,05)	5,4	4,4	4,5	2,6	2,4	3,5

Ns= não significativo

3.2. Otimização do tempo de colheita e espaçamento na qualidade de óleo da hortelã japonesa (*Mentha arvensis* L.)

A composição química dos óleos essenciais difere entre variedades da mesma espécie e depende de fatores genéticos e ambientais, que influenciam, na produção quantitativa e qualitativa do óleo essencial. O conteúdo é variável de acordo como o tecido da planta.

O momento da colheita pode alterar a concentração e a composição do óleo essencial (MATOS, 1996). Nas primeiras horas, o óleo é mais aromático em relação às horas quentes do dia. Em temperaturas mais altas, haverá maior volatilização dos óleos essenciais. Avaliando horários de coleta na extração de óleo essencial de *Ocimum selloi*, foi verificado que no período da manhã são obtidas maiores concentrações, sendo observado em condições experimentais, que a concentração de eugenol no óleo de *Ocimum gratissimum* cai a 0,0% no final do dia (RANDHAWA & KAUR, 1996).

Variação dos aspectos quantitativos e qualitativos também ocorrem durante os estádios de desenvolvimento da planta (RANDHAWA & KAUR, 1996) e a época do ano.

A hortelã *Mentha arvensis* L., dentre as plantas condimentares mais populares após baunilha (*Vanilha planifolia*/orquidácea) e citrus, contém 85% de menthol, amplamente usado na indústria farmacêutica, alimentícia, condimentares, cosmética e perfumaria.

Recentemente tem sido constatada menor qualidade de hortelã japonesa. Daí a necessidade de introduzir novas variedades, com alto conteúdo de óleo e menthol.

RANDHAWA & KAUR (1996) cultivaram três variedades MAS-1, 'HY-77' e PSB-1 em três espaçamentos (45, 60 e 90 cm) sendo a colheita aos 120, 135 e 150 dias após o plantio. As propriedades físicas (gravidade específica, rotação ótica e índice refrativo) e químicas (valor da acidez e de éster no óleo da biomassa) foram determinadas de acordo com a especificação do Indian Standard Institution (ISI).

3.2.1 Efeito da variedade

Os dados revelaram que a gravidade específica foi ligeiramente maior em 'HY-77' comparada às variedades MAS-1 e PBS-1. A variedade PBS-1 teve o índice refrativo mais baixo. A rotação óptica foi maior na variedade MAS-1 quando comparada com HY-77 e 'PBS-1'.

Os valores da Tabela 19 mostram que o óleo na biomassa de 'MAS-1' tinha maior valor de ácido enquanto a variedade 'PBS-1' registrou o valor de ácido mais baixo. O valor de éster, assim como, o valor de éster depois da acetilação (saponificação) e mentol livre foram maiores em 'PBS-1'. A variedade 'PBS-1' continha o mais alto conteúdo de mentol total e menthone. A variedade 'HY-77' continha a mais alta percentagem de acetato de metil, ausentes na 'PBS-1'.

A produção total de óleo (L/ha), teve efeito significativo entre variedades e espaçamentos e entre variedade e época de colheita no ano de 1991. As variedades PBS-1 e MAS-1 tiveram a maior produção de óleo no maior espaçamento entre as linhas de plantio (75 cm). Em 1992 a maior produção ocorreu no espaçamento 45cm. Em relação a interação variedade e época de coleta, a maior produção foi verificada na variedade PBS-1 aos 35 dias em 1991 e 150 dias em 1992.

Geralmente o valor de ácido no óleo aumentou no armazenamento, portanto, o maior valor de ácido durante 1991 (Tabela 20) poderia decorrer da amostra armazenada por algum tempo antes de sua análise.

3.2.2 Efeito do espaçamento

A gravidade específica do óleo melhorou com o aumento do espaçamento entre fileiras de plantio (45 até 60 cm) e com o espaçamento suplementar (75 cm) a gravidade específica decresceu. O valor da rotação óptica foi praticamente o mesmo em todos os espaçamentos mas estavam dentro dos limites da ISI.

O valor de acidez aumentou com o espaçamento entre fileiras (45 a 60 cm) no espaçamento maior (75 cm) o valor da acidez decresceu. O valor de éster tendeu a decrescer com o aumento do espaçamento. O valor do conteúdo de éster depois da acetilação (saponificação), mentol livre e acetato de metil aumentou com espaçamento (até 60 cm), decrescendo no espaçamento 75 cm. O conteúdo total de mentol não foi afetado pelo vários espaçamentos.

3.2.3 Efeito do tempo de colheita

A gravidade específica, índice refratário e rotação óptica decresceram com o atraso na colheita (120-135 dias) e melhorou na colheita de 150 dias.

O valor da acidez e do éster depois da acetilação foi aumentado pelo atraso da colheita (120-135 dias) mas diminuiu aos 150 dias. Enquanto o contrário ocorreu no valor do éster.

O conteúdo total de mentol aumentou com a demora na colheita (120-150 dias) porém tendência contrária foi observada em 1992. O conteúdo de menthone no óleo tendeu a decrescer com cada atraso na colheita (120-150 dias). O acetato de metil no óleo aumentou com o atraso na colheita (apenas acima de 135 dias) posteriormente o conteúdo decresceu (150 dias).

Tabela 19. Produção de óleo (L/ha) de hortelã japonesa em função de variedades, espaçamentos e épocas de colheita. Adaptado de RANDHAWA, KAUR, 1996.

Tratamento	Variedades				Variedades			
	MAS-1	HY-77	PBS-1		MAS-1	HY-77	PBS-1	
Espaçamento	1991			média	1992			média
45	85,8	94,0	143,9	107,8	92,7	94,2	154,5	113,8
60	90,9	81,0	142,8	104,9	82,6	87,6	127,3	99,1
75	102,6	85,5	120,4	102,8	69,8	84,3	116,3	90,1
TC (DAP)								
120	114,0	90,6	147,3	117,3	81,4	76,4	112,2	89,6
135	82,9	96,8	149,5	109,7	76,5	82,7	138,4	99,2
150	82,1	72,8	110,3	88,4	87,3	107,0	148,5	114,2
Média	93,0	86,8	135,7		81,7	88,7	132,7	
Variedade		8,9				9,7		
Espaçamento		NS				9,7		
V x E		15,4				NS		
TC		8,7				7,3		
V x TC		15,1				12,6		

DAP: dias após plantio, V variedade, E espaçamento e TC época de colheita.

Tabela 20. Valores de ácido, éster e saponificação de hortelã japonesa em função de variedades, espaçamentos e épocas de colheita. Adaptado de RANDHAWA, KAUR, 1996.

	Valor de acidez			Valor do éster			Saponificação		
	1991	1992	média	1991	1992	média	1991	1992	média
Variedades									
MAS-1	2,52	0,92	1,72	8,35	7,36	7,85	10,87	8,26	9,56
HY-77	1,33	0,64	0,98	8,74	6,73	7,73	10,06	7,37	8,71
PBS-1	1,32	0,17	0,75	10,47	5,98	8,22	11,79	6,15	8,97
Espaçamento (cm)									
45	1,84	0,94	1,39	9,97	7,10	8,53	11,81	8,04	9,92
60	1,57	0,90	1,23	10,72	6,11	8,41	12,29	7,01	9,65
75	1,74	0,89	1,31	6,86	6,86	6,86	8,58	7,75	8,16
Época colheita (dias)									
120	1,42	0,87	1,14	10,10	5,11	7,60	11,52	5,98	8,75
135	2,05	0,83	1,44	7,98	7,11	7,54	10,03	7,94	8,98
150	1,64	1,33	1,33	9,47	7,85	8,66	11,11	8,88	9,99

3.3 Efeito da densidade de plantio na produção de raiz de valeriana

O cultivo de valeriana (*Valeriana officinalis* L.) destinado a produzir matéria prima com atividade biológica, é nova cultura na Nova Zelândia. Tentativas iniciais com plântulas transplantadas na densidade 4,4 plantas/m² (p/m²) produziram 70 a 100 g/planta de raiz seca após 6 meses de cultivo. Foi sugerido o espaçamento entre plantas 40 x 40 cm (6,25 p/m²) com o intuito de aumentar a produção. Foi comparada a produção de raiz de valeriana em plantio direto de plântulas (3 kg/ha) com duas densidades de plantio, 6,25 e 12,5 p/m² (primavera e outono). Houve aumento de 35% na produção de raízes na maior população. Na Alemanha, a recomendação é a densidade de 6,4 a 9,4 p/m² (DOUGLAS et al., 1996).

DOUGLAS et al. (1996) avaliaram a produção de raiz de *V. officinalis* em locais (A e B) com o espaçamento 30 cm entre fileiras de plantas sendo entre plantas (dentro da linha) 10, 15, 20, 30, 40 e 60 cm, correspondendo às populações 33, 22, 17, 11, 8 e 6 plantas/m² respectivamente.

A produção de raiz/planta diminuiu nos locais quando a população de plantas aumentou. A redução no peso de raiz foi maior nas menores populações (Figura.1). No local B o peso de raiz a 5,5 plantas/m² foi 105g, sendo reduzido em 42% pelo aumento da população de plantas 8,3 plantas/m².

No local A a maior massa de raiz seca foi 84g na menor população de plantas. A produção de raiz aumentou 48%.

3.4 Produção de *Eleutherine bulbosa* Iridaceae em função do peso dos bulbos e espaçamento

Eleutherine bulbosa, pertencente a família Iridaceae, é usada em diversas regiões do Brasil na medicina popular no tratamento anti-ameba, atividade anti-diarréica e no tratamento de diarréia de bezerro. Na China, a espécie *E. americana* é usada nos problemas coronários e no Haiti, extrato de *E. bulbosa* contém similares químicos de agentes anti-fertilidade (MING, 1996).

O sistema reprodutivo assexual da planta é por aglomerado de bulbos. O uso de bulbos é o mais fácil de se propagar a espécie.

MING (1996), avaliou a influência do peso dos bulbos (bulbos < 1,5 g; 1,5 a 3,0 g e bulbos > 3,0 g) e o espaçamento (entre filas de plantas = 20 cm e entre plantas dentro da linha de 10 e 14 cm) na produção de bulbos.

Pelos resultados da Tabela 21, não houve diferença significativa ainda que os bulbos pesados sejam usados no plantio. No espaçamento maior (20 x 14 cm), houve aumento na biomassa dos bulbos em relação ao menor espaçamento (20 x 10cm). Os aumentos foram de 13,28%, 8,07% e 0,27%, respectivamente, nos bulbos pequenos, médios e grandes.

Tabela 21. Peso total de bulbos frescos (em g) de 24 plantas de *Eleutherine bulbosa*. Adaptado de MING 1996.

Tratamento	Repetições				Médias
	A	B	C	D	
1	466	497	703	742	602,00a
2	530	548	705	830	653,25a
3	580	644	853	878	738,75a
4	657	668	758	645	682,00a
5	683	685	761	695	706,00a
6	706	741	808	708	740,75a

* Médias com mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. DMS = 172,56 e CV = 10,91.

3.5 Alta qualidade de camomila destinada ao processamento comercial

Há variação em camomila (*Chamomilla recutita* Syn. *Matricaria recutita* (L.), Rauschert), quanto ao crescimento, conteúdo e a composição de óleo essencial e dos flavonóides em resposta a várias condições ecológicas (LETCHAMO & GOSSELIN 1996).

Três variedades de camomila com (-)- α -bisabolol, uma variedade diplóide (A) e duas variedades tetraplóides, BK2-39 (B) e R-43 (C) em condições de campo foram avaliadas (tabela 22).

LETCHAMO & GOSSELIN (1996) avaliaram o desempenho no campo assim como as mudanças na qualidade e quantidade de compostos ativos.

Tabela 22. Características morfológicas de variedades de camomila cultivadas em três períodos. Adaptado de MING 1996.

	brotações/planta	Ramos primário	Altura de plantas (cm)
Junho de 1992			
A. diplóide	5 ? 1	6 ? 2	45
B. BK2-39	7 ? 2	9 ? 2	52
C. R-43	6 ? 1	8 ? 1	55
Média	6	8	51
Agosto de 1992			
A. diplóide	16 ? 2	11 ? 1	44
B. BK2-39	18 ? 3	12 ? 2	51
C. R-43	17 ? 2	12 ? 1	54
Média	17	12	50
Maio de 1993			
A. diplóide	16 ? 1	7 ? 1	43
B. BK2-39	18 ? 1	10 ? 2	52
C. R-43	18 ? 2	9 ? 2	55
Média	17	9	50

3.5.1 Sobrevivência no inverno

A variedade C seguida pela B tiveram maior sobrevivência confirmando dados anteriores de sobrevivência (LETCHAMO & GOSSELIN 1996). A variedade A teve a menor sobrevivência. As plantas diplóides (A) eram menores enquanto as tetraplóides atingiram maiores alturas.

3.5.2 Morfologia das plantas e produção de flores

Houve diferenças marcantes na produção e nas características das brotações e dos ramos. A variedade B produziu o máximo de brotos (29%) e ramos (34%) por planta comparada a A. A variedade "diplóide" (A) produziu o menor número de brotos e ramos (Tabela 23). Entretanto, a maior produção (183% mais brotos comparados ao inverno) nas 3 variedades ocorreu no plantio de outono (Tabela 23). O menor número de brotos e ramos, causou baixa produção no verão (Tabela 23), LETCHAMO & GOSSELIN 1996.

Tabela 23 Desempenho de variedades de camomila cultivadas em três períodos. Adaptado de LETCHAMO & GOSSELIN 1996.

	Produção de flores kg/ha	Conteúdo de óleo (%)	Estimativa de produção de óleo kg/ha
Junho de 1992			
A. diplóide	550 ± 50	0,52 ± 0,02	2,86
B. BK2-39	805 ± 45	0,63 ± 0,17	5,07
C. R-43	280 ± 25	0,45 ± 0,05	1,36
Média	545	0,53	3,06
Agosto de 1992			
A. diplóide	449 ± 38	0,46 ± 0,16	2,07
B. BK2-39	930 ± 68	0,61 ± 0,15	5,67
C. R-43	755 ± 75	0,67 ± 0,06	5,06
Média	711	0,58	4,27
Maio de 1993			
A. diplóide	575 ± 25	0,58 ± 0,11	3,34
B. BK2-39	863 ± 50	0,75 ± 0,12	6,47
C. R-43	645 ± 2	0,56 ± 0,13	3,61
Média	694	0,63	4,47

3.5.3 Conteúdo de óleo essencial e produção

O conteúdo de óleo essencial nas flores das variedades excedeu o valor mínimo 0,40% da farmacologia. O conteúdo de óleo na variedade B semeada no outono-primavera foi considerado maior (33% e 29% respectivamente) do que A. Entretanto, o óleo essencial de A foi 14% maior do que na C semeada no verão. Entre as três variedades, B teve a maior produção de óleo: 5,07 kg/ha no verão, 5,67 kg/ha no outono e 6,47 kg/ha na primavera (Tabela 23). Ou seja, 77% no verão, 174% no outono e 94% no outono a mais comparada com A (controle). Maior estabilidade e uniformidade também foi constatada em B.

BIBLIOGRAFIA

DOUGLAS, J.A., FOLLETT, J.M., DOUGLAS, M.H., HEANEY, A.J. The effect of plant density on the production of valerian root. **Acta Hort.**, v.426, p.375-379, 1996.

LETCHAMO, W., GOSSELIN, A. High quality camomile for North American commercial processing. **Acta Hort.**, v.426, p.593-600, 1996.

MING, L.C. Yield of *Eleutherine bulbosa* Iridaceae as affected by weight of bulbs and planting spacing. **Acta Hort.**, v.426, p.551-553, 1996.

RANDHAWA, G.S., GILL, B.S., SAINI, S.S., SINGH, J. Effect of plant spacings and nitrogen levels on the seed yield of dill seed (*Anethum graveolens* L.). **Acta Hort.**, v.426, p.623-628, 1996.

RANDHAWA, G.S., KAUR, S. Optimization of harvesting time and row spacing for the quality oil in Japanese mint (*Mentha arvensis* L.) varieties. **Acta Hort.**, v.426, p.615-622, 1996.

4. DEFICIÊNCIA HÍDRICA

As modalidades de estresse ambiental tem em comum o estado da água na planta. A disponibilidade de água solvente biológico, e meio de transporte, doador de elétrons (na reação de Hill) é prejudicada pelas condições ambientais. Embora plantas variem na sua resposta ao decréscimo do potencial da água causado pela seca, baixa temperatura ou alta salinidade, toda a planta codifica, percebe o estresse, sinalizando e respondendo. Muitas espécies tem excelente tolerância ao estresse abiótico. Estudos bioquímicos tem revelado similaridade nos processos induzidos pelo estresse causando acúmulo de metabólitos nos tecidos das plantas (BOHNERT et al., 1995).

4.1. Produção de metabólito secundário pela *Digitalis lanata* durante o estresse hídrico

Metabólitos secundários de plantas são componentes essenciais das reações de defesa das plantas contra herbívoros ou invasão por microrganismos. Variações ambientais abióticas podem alterar a produção de tais metabólitos, com conseqüências até econômicas.

STUHLFAUTH, KLUG & FOCK, 1987, analisaram a resposta do metabolismo secundário ao estresse hídrico e enriquecimento com CO₂ em *Digitalis lanata* cv. EHRH.

4.1.1 Resposta durante o enriquecimento com CO₂

A atmosfera enriquecida com CO₂ a 1000ppm (cerca de 3x a concentração normal, mantida durante o crescimento da planta) aumentou a produção de biomassa acima do normal registrado a 350 ppm. O máximo peso e concentração de cardenolide foi atingido com CO₂ adicional e adequada mistura (Tabela 24). Este efeito pode ser atribuído a mais alta taxa de assimilação de CO₂ durante o primeiro período (fase vegetativa) desta planta bianual. O conteúdo de cardenolide, matéria fresca e seca aumentou 60% aproximadamente. O aumento na produção de cardenolide por planta decorreu do crescimento mais rápido.

O conteúdo de digoxin aumentou aproximadamente 10% com o enriquecimento de CO₂, enquanto as quantidades de digitoxigenin e digoxigenin-bis-digitoxoside foram reduzidas. (Tabela 25)

4.1.2 Resposta durante a deficiência hídrica

O menor crescimento das plantas durante o estresse hídrico é esperado (STUHLFAUTH, KLUG & FOCK, 1987) . A redução no crescimento foi aparente em plantas moderadamente estressadas ($\psi = -1,3$ MPa) comparado com plantas bem irrigadas do controle ($\psi = -0,7$ MPa) (Tabela 24). A deficiência hídrica causou decréscimo na matéria fresca e redução na produção de cardenolides e na matéria seca. A perda de água das plantas precedeu a mudanças metabólitos.

Tabela 24. Matéria fresca, matéria seca e conteúdo de cardenolides por planta em resposta ao enriquecimento com CO₂ e deficiência hídrica. Adaptado de STUHFAUTH, KLUG e FOCK 1987.

Concentração CO ₂	Variáveis	Plantas irrigadas $\psi = -0,7 \text{ MPa}^*$	Plantas estressadas $\psi = -1,3 \text{ MPa}^*$
350 ppm	Matéria fresca (g)	106,3	62,7
	Matéria seca (g)	21,4	16,9
	Conteúdo de cardenolides (μmol)	160,7	109,0
1000ppm	Matéria fresca (g)	171,9	90,0
	Matéria seca (g)	34,9	30,9
	Conteúdo de cardenolides (μmol)	260,2	199,4

Médias de oito repetições (Matéria fresca e seca) ou quatro repetições (conteúdo de cardenolides). A diferença entre as medidas são significante ($p < 0,05$). * O potencial hídrico foi medido nas folhas mais jovens completamente expandidas.

Tabela 25. Conteúdo de cardenolides (nmol por g de peso seco) em resposta ao enriquecimento com CO₂ e deficiência hídrica. Adaptado de STUHFAUTH, KLUG e FOCK 1987.

Concentração CO ₂	Cardenolideos	Plantas irrigadas $\psi = -0,7 \text{ MPa}^*$	Plantas estressadas $\psi = -1,3 \text{ MPa}^*$
350 ppm	Total	7510	6440
	Digoxin-mono-digitoxoside	220	220
	Digoxin-bis-digitoxoside	1062	902
	Digoxin	3565	2965
	Digotoxigenin	1320	686
	Digitoxin	219	249
1000 ppm	Total	7450	6460
	Digoxin-mono-digitoxoside	337	278
	Digoxin-mono-digitoxoside	579	628
	Digoxin	3923	3401
	Digoxin	760	258
	Digotoxigenin	290	225

Médias de 4 repetições (total de cardenolides) e 3 repetições (cardenolides). Todas diferenças no conteúdo de digoxin e digitoxigenin são significativas ($p < 0,05$). As diferenças em digoxin-bis-digitoxoside são significativas apenas quanto ao CO₂, e quanto ao total de cardenolides (apenas no tratamento com estresse hídrico). * O potencial hídrico foi medido nas folhas mais jovens e completamente expandidas.

4.2. Transpiração, glândulas de óleos essenciais, cera epicuticular e morfologia de tomilho (*Thymus vulgaris*) influenciados pela intensidade de luz e pelo suplemento de água

A limitação de água está dentre as principais restrições ambientais no cultivo das plantas. As respostas fisiológicas e metabólicas são conhecidas, mas, o comportamento de plantas medicinais e aromáticas em função da disponibilidade de umidade e regime de luz é pouco estudado (LETCHAMO & GOSSELIN, 1996).

O tomilho é conhecido por adaptar-se bem em regiões quentes e semi-áridas assim como regiões chuvosas e frias produzindo óleo de alta qualidade processado pelas indústrias. Além disso, vários aspectos da adaptação de tomilho em condições de crescimento são pouco compreendidos. Mudanças nas características morfológicas e disposição da cera epicuticular (LEW), taxa de transpiração estomatal (TR^{ST}) e taxa de transpiração cuticular (TR^{CU}) são importantes indicadores da adaptação, especialmente em estresse hídrico. A cera epicuticular nas plantas parece ser importante na conservação de água das folhas pela redução da transpiração cuticular (LETCHAMO & GOSSELIN, 1996).

LETCHAMO & GOSSELIN (1996) investigaram os efeitos de dois regimes de luz e três Conteúdos de Água no Substrato (SWC) na TR^{ST} , TR^{CU} , formação de glandula de óleo essencial nas folhas, resistência de cera epicuticular na superfície foliar, características morfológicas em dois clones de tomilho, cultivado em condições controladas.

4.2.1. Curva de retenção de água de folhas

A curva de retenção de água em ramos extirpados com folhas mostra duas fases distintas (LETCHAMO & GOSSELIN 1996). A parte inicial do declive e declive (tan) mostra a taxa de perda de água pela TR^{ST} mais TR^{CU} e parte do declive moderado. O declive (tan) mostra a taxa de perda de água pela TR^{CU} . A linha tangente das duas fases de cada intercepto ponto com a abscissa (t, w), formando ângulos e respectivamente, sendo definida como ponto médio do fechamento estomatal (MSC). O valor de t mostra o tempo fechado, enquanto o valor w mostra o conteúdo relativo de água no tecido (RWC) estômato fechado. A RWC depois de 280 min. de transpiração (RWC^{280}) mostrou completa capacidade de retenção de água pelo tecido das folhas. A forma da curva de retenção de água similar com SWC diferiu entre suplementação de luz e luz natural (Tabela 26). O tempo de fechamento estomatal (t^{SC}) foi mais longo em plantas estressadas de ambas plantas selecionadas. Nos regimes de luz, as plantas cultivadas em baixo SWC mostraram maior capacidade de retenção de água do que as plantas em alto (SWC). O (RWC) comparado com plantas cultivadas depois de 280 minutos de transpiração (RWC^{280}), foi maior em plantas com estresse hídrico, 11% no clone Laval 1 (A) e 33% no 'Laval 2' (B) com suplementação de luz, e 4% no A e 9% no B em luz natural, a 50% de SWC). Folhas de plantas em estresse hídrico revelaram maior capacidade de retenção de água quando a suplementação de água foi suspensa. Houve interação significativa entre suplementação de luz e SWC quanto a TR^{ST} , TR^{CU} e RWC^{280} a $P < 0,05$.

Tabela 26. Efeito de luz suplementar e conteúdo de água no substrato (SWC) na taxa de transpiração estomatal (TR^{ST}) e cuticular (TR^{CU}), tempo no qual o estômato fechou (t^{SC}). Conteúdo relativo de água no qual o estômato fechou (RWC^{SC}) depois de 280 min. (RWC^{280}) de folhas extirpada de ramos de *Thymus vulgaris*. Adaptado de LETCHAMO e GOSELIN, 1996.

	SWC	TR^{ST}	TR^{CU}	t^{SC}	RWC^{SC}	RWC^{280}
Seleção	(%)(% min ⁻¹).....		(min)(%).....	
Luz suplementar						
Clone A	90	0,571	0,108d	82c	56b	45 ^a
	70	0,533b	0,103c	90c	59b	47 ^a
	50	0,429 ^a	0,058a	100d	64c	50b
Clone B	90	0,605c	0,127d	78b	58b	45 ^a
	70	0,535b	0,113d	86b	63c	50b
	50	0,432a	0,071b	110d	64c	60c
Luz natural						
Clone A	90	0,776e	0,132d	75b	50a	48b
	70	0,571c	0,125d	83b	53a	46 ^a
	50	0,505b	0,095c	95bd	57b	50b
Clone B	90	0,709d	0,168f	60a	54a	43 ^a
	70	0,665d	0,147e	70a	54a	45 ^a
	50	0,557c	0,140e	90c	59b	47b
Efeitos principais						
Luz (L)		**	**	*	**	*
Água (W)		*	*	*	*	*
Clone (C)		*	*	n.s.	n.s.	n.s.
Interação						
L x W		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
W x C		n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
L x C		*	*	*	n.s.	n.s.
L x W x C		*	*	*	n.s.	n.s.

*, **, significância a $P < 0,05$; $0,01$; n.s. não significativo.

Valores seguido pela mesma letra não diferem de acordo com o teste de Waller-Duncn ($P < 0,05$). Clone A = Laval 1, Clone B = Laval 2

4.2.2. Conteúdo de glândula de óleo essencial

LETCHAMO & GOSSELIN (1996) encontraram diferenças significativas no número de glândulas de óleo essencial entre os dois regimes de luz (luz natural e suplementado por Radiação Fotossinteticamente ativa (PPF) de $200 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) também encontrou diferenças quanto a glândulas entre os conteúdos de água, 90% da capacidade de campo (controle), 70% (tratamento moderado) e 50% da capacidade de campo (baixo conteúdo de água). A interação entre luz, conteúdo de água (SWC), 2 clones de tomilho (Laval 1 e Laval 2) foi significativa a $P < 0,05$ (Tabela 27). O número de glândulas de óleo essencial (fase abaxial e face adaxial) aumentou com o suplemento de luz, comparado com a luz natural. Com suplemento de luz, o número médio de glândulas de óleo essencial aumentou 37% em 'Laval 1' e 52% em 'Laval 2', comparado com a luz natural.

A contribuição do suplemento de luz foi mais pronunciada na parte abaxial da folha do que o sítio adaxial (Tabela 27). Toda planta em estresse hídrico teve baixo número de glândulas de óleo essencial. O número médio de glândulas de óleo essencial no suplemento de luz aumentou de 14% a 50% de SWC, 48% a 70% SWC e 55% a 90% SWC em 'Laval 1', e 43% a 50% SWC, 63% a 70% SWC e 56% a 90% de SWC em 'Laval 2', comparado com plantas cultivadas em luz natural ($P < 0,01$) (Tabela 27). Embora 'Laval 1' tivesse mais glândulas de óleo essencial do que 'Laval 2', a diferença entre os clones não foi significativa.

O número médio de glândulas de óleo com suplemento de luz a 70% SWC aumentou de 21% em 'Laval 1' e 35% em 'Laval 2' comparado com o controle. Com decréscimo adicional de SWC de 50% o número de glândulas de óleo essencial declinou a 5% em 'Laval 1' e 19% em 'Laval 2' (Tabela II, Figura 2).

Havia também mais glândulas de óleo essencial na superfície abaxial da folha do que na superfície adaxial (Tabela 27). LETCHAMO & GOSSELIN (1996) também estabeleceram que 60 a 65% das

glândulas de óleo essencial foram localizadas na parte mediana das folhas, com aproximadamente 20% na parte basal das folhas. Embora o volume das glândulas de óleo não fosse diretamente medido no experimento, as glândulas de óleo das plantas em suplemento com luz a 50% SWC foram maiores do que em luz natural e alto SWC.

O conteúdo de óleo essencial em suplemento de luz foi significativamente maior (49% em 'Laval 1' e 35% em 'Laval 2') do que na luz natural ($P,0,01$), (Tabela 28). Entretanto, o conteúdo de óleo essencial foi o mais baixo nos dois clones ($P,0,01$) cultivados a 90% SWC sob luz natural. Com suplemento de luz, o conteúdo de óleo essencial a 50% SWC diminuiu a 26% na 'Laval 1' e 24% no 'Laval 2' comparado com o controle. Embora o maior conteúdo de óleo essencial foi medido a 70% SWC nos dois regimes de luz, a diferença entre o controle (90%) e 50% SWC não foi significativa (Tabela 28).

Tabela 27. Número de glandulas de óleo essencial/2,27 m² em folhas de *Thymus vulgaris* em função da suplementação de luz, e conteúdo de água no substrato (SWC). Adaptado de LETCHAMO e GOSSELIN, 1996.

Clone	SWC (%)	Luz suplementar			Luz natural		
		Abaxial	Adaxial	Média	Abaxial	Adaxial	Média
Clone A	90	32,0	24,5	28,3d	20,0	16,4	18,2 ^a
	70	40,5	27,8	34,2f	24,5	21,7	23,1c
	50	35,8	23,8	29,8e	32,3	20,0	26,2d
	Média	36,1	25,4	30,8	25,6	19,4	22,5
Clone B	90	25,4	20,3	22,9c	18,8	10,8	16,3 ^a
	70	33,5	28,3	30,9e	19,4	18,6	19,5b
	50	34,3	22,0	28,2d	20,8	18,6	19,7b
	Média	31,1	23,5	27,3	19,7	20,3	18,5

Tabela 28. Cera epicuticular da folha (LEW) e conteúdo de óleo essencial (EOC) de *Thymus vulgaris*, em função da luz suplementar e conteúdo de água do substrato (SWC). Adaptado de LETCHAMO e GOSSELIN, 1996.

Clone	SWC (%)	Luz suplementar		Luz natural		
		EOC (%)	LEW (mg/m ²)	EOC (%)	LEW (mg/m ²)	
Clone A	90	1,72b	171bc	1,10a	128 ^a	
	70	2,18c	179bc	1,26a	148b	
	50	1,28ab	214c	1,11a	163ab	
	Média	1,73	188	1,16	146	
Clone B	90	1,63b	169ab	1,15a	114 ^a	
	70	2,14c	174bc	1,35ab	128 ^a	
	50	1,24a	208c	1,21a	146b	
	Média	1,67	184	1,24	129	
Efeito principal			interação			
Luz (L)		***	***	L x W	***	***
Água (W)		***	**	L x S	n.s.	***
Clone C		n.s.	n.s.	W x S	n.s.	n.s.
				L x W x S	*	n.s.

*, **, ***, significativo a $P < 0,05$; 0,01 e 0,001; n.s. não significativo.

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste de Waller-Duncan ($P < 0,05$). Clone A = Larval 1e Clone B = Larval 2

4.2.3. Resistência da cera epicuticular

A cera na superfície foliar foi examinada de modo a confirmar a mensuração da TR^{cu} e estudar a relação com as glândulas de óleo essencial. A resistência da cera epicuticular foi significativamente maior em plantas de tomilho com suplementação de luz do que com luz natural, $P < 0,001$, Tabela 28. A cera epicuticular acumulou nos dois os clones, com suplemento de luz variando entre 169 a 214 $mg\ m^{-2}$ enquanto nas plantas com luz natural, este valor flutuou entre 114 a 163 $mg\ m^{-2}$ (Tabela 28). O aumento relativo da cera epicuticular devido o suplemento de luz foi 31% a 50% SWC, 21% a 70% SWC e 34% a 90% SWC no 'Laval 1' e 42% a 50% SWC, 36% a 70% SWC e 48% a 90% SWC no 'Laval 2' (Tabela 28). A cera epicuticular medida poderia ser mais que de 0,30 a 0,38% do peso da folha nas plantas com suplemento de luz e 0,20 a 0,29% plantas com luz natural. Em geral, plantas com suplemento de luz tinham folhas lustrosas, espessas com ceras resistentes, comparadas às folhas das plantas crescidas na luz natural.

Houve diferença significativa na resistência da cera epicuticular entre SWC a $P < 0,01$ (Tabela 28). A maior alta acumulação de cera epicuticular nas folhas foi medida em plantas com estresse hídrico (50% SWC) crescidas com suplemento de luz (Tabela 28). O aumento relativo de cera epicuticular, com suplemento de luz, foi 5% a 70% SWC e 25% a 50% SWC no 'Laval 1'. No 'Laval 2' foi 3% e 23% a 70% e 50% SWC, comparado com o controle, respectivamente. Tendência similar foi encontrada nas plantas crescidas na luz natural. Entretanto, quando SWC aumentava, havia decréscimo na cera epicuticular da superfície foliar. A menor resistência da cera epicuticular foi encontrada no 'Laval 2' com luz natural 90% SWC. Embora 'Laval 1' tendesse a acumular mais cera epicuticular, a diferença entre os dois clones não foi significativa.

4.2.4. Característica morfológica

As características morfológicas dos clones de tomilho foram significativamente alteradas pelas condições de crescimento (Tabela 29). Todas as plantas no suplemento de luz cresceram verticalmente com folhas extremamente verdes e estavam esteticamente mais atraentes. Plantas crescidas na luz natural tinham folhas verde-pálido e com crescimento prostrado, tipo aberto. Essa adaptação melhorava a penetração da luz no interior da folha. Folhas menores, mais resistentes e espessas cresceram nas plantas com suplemento de luz (Tabela 29). O comprimento da folha de plantas crescidas com luz natural aumentou de 7% e na largura 18%, comparado com plantas crescidas com suplemento de luz ($P < 0,05$, Tabela 29).

Todas as plantas com suplemento de luz desenvolveram 42% mais brotos e 33% mais ramos do que na luz natural ($P < 0,05$ Tabela 30). A interação entre regimes de luz, SWC e clones nas variáveis, brotos, ramos primários e altura das plantas, foi significativa a $P < 0,05$ (Tabela 30). Com suplemento de luz, os ramos e brotos foram favorecidos pelo aumento SWC, enquanto na luz natural isso não ocorreu, exceto no 'Laval 2' crescida em luz natural (Tabela 30). As plantas cultivadas na luz natural estavam ligeiramente mais altas do que as cultivadas com suplemento de luz, mas a diferença não foi significativa.

Tabela 29. Efeito do suplemento de luz e conteúdo de água no substrato (SWC) no comprimento foliar (mm), tamanho e espessura (mm) de *Thymus vulgaris*. Adaptado de LETCHAMO e GOSSELIN, 1996.

Clone	SWC	Suplementação de luz				Luz natural		
		Largura	Compr.	Espessura		Largura	Compr.	Espessura
	(mm).....			(mm).....		
	90	7,88c	4,09c	0,45b		8,17d	4,55cd	0,41b
Clone A	70	7,22c	4,02c	0,62d		8,21d	5,17d	0,44b
	50	6,89b	3,83b	0,59c		7,32c	4,38c	0,39a
	Média	7,33	3,98	0,55		7,90	4,70	0,41
	90	6,60b	3,01b	0,39a		7,04c	3,19b	0,32a
Clone B	70	5,70 ^a	2,85a	0,51c		7,73c	3,60b	0,36a
	50	5,69 ^a	2,98a	0,41b		6,18ab	3,2ab	0,31a
	Média	6,00	2,95	0,44		6,98	3,33	0,33
significância				interação				
Luz (L)		*	**	**	L x W	***	**	***
Água (W)		n.s.	n.s.	n.s.	L x S	*	*	n.s.
Clone C		*	*	n.s.	W x S		n.s.	n.s.
					L x W x S	*	n.s.	*

Clone A = Laval 1 e Clone B = Laval 2

Tabela 30. Efeitos da suplementação de luz e conteúdo de água no substrato (SWC) no número de brotos, ramo primário e altura das plantas (cm) de *Thymus vulgaris*. Adaptado de LETCHAMO e GOSSELIN, 1996.

Clone	SWC (%)	Suplementação de luz				Luz natural		
		Brotos	ramos	Altura (cm)		brotos	ramos	Altura (cm)
Clone A	90	12,3c	55,3d	26a		7,3b	37,0c	29b
	70	11,8c	37,3c	27a		8,0b	34,0c	30b
	50	08,3b	22,5b	28a		4,8a	15,3a	27a
	Média	09,5	38,4	27		6,7	28,8	29
Clone B	90	09,3c	43,0cd	29b		5,5b	25,8b	29b
	70	10,0c	36,8c	28ab		7,8b	32,0c	30b
	50	05,0 ^a	35,0c	25a		5,0a	23,8b	29b
	Média	08,1	38,3	27		6,1	27,2	29
significância				interação				
Luz (L)		**	***	*	L x W	n.s.	*	***
Água (W)		***	***	***	L x S	n.s.	n.s.	***
Clone C		***	n.s.	n.s.	W x S	n.s.	***	**
					L x W x S	*	*	*

Bibliografia

LETCHAMO, W., GOSSELIN, A. Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thymus vulgaris* are influenced by light intensity and water supply. **Journal of Horticultural Science**, v.71, n.1, p.123-134, 1996.

STUHLFAUTH, T., KLUG, K., FOCK, H.P. The production of secondary metabolites by *Digitalis lanata* during CO₂ enrichment and water stress. **Phytochemistry**, v.26, n.10, p2735-2738, 1987.

WANG, Z., ACOCK, M.C., ACOCK, B. Photoperiod sensitivity flower development of Opium poppy (*Papaver somniferum* L.). **Annals of Botany**, v.79, p.129-132, 1997.

5. EFEITO DA LUZ ULTRAVIOLETA B SOBRE AS PLANTAS MEDICINAIS

Histórico

Segundo STAAIJ (2002), durante os primeiros estágios da evolução das plantas terrestres, a concentração do ozônio na estratosfera era mais baixa que atualmente. É sabido que, desde os anos 70, a atividade humana está causando o rompimento da camada de ozônio (O₃) da estratosfera. Este conhecimento tem provocado pesquisas sobre os possíveis efeitos da exposição dos organismos ao aumento da radiação do UV-B (280-315 nm). As pesquisas mostram que a exposição a UV-B causa danos ao DNA e outras macromoléculas assim como no aparato fotossintético. Em plantas crescidas nas condições de campo ou habitat natural os danos podem resultar em mudanças na morfologia e no metabolismo secundário.

Visando evitar danos do UV-B, as plantas desenvolveram compostos que absorvem UV-B dentro dos tecidos. Compostos fenólicos são os principais constituintes da proteção contra UV-B em plantas terrestres, variando de ácidos fenólicos (em algas terrestres aos mais complexos flavonóides em plantas vasculares). Em líquens apenas ácidos fenólicos estão presentes e em musgos 40-50% das espécies analisadas contêm flavonóides. Os compostos protetores fenólicos se aperfeiçoaram durante a evolução, das algas às plantas vasculares. Em muitas espécies há relatos que o alto nível de UV-B induz aumento na síntese dos compostos capazes de absorver a radiação UV-B. Além da função na absorção de UV-B, muitos destes fenólicos são multifuncionais e podem também atuar como agentes antifúngicos e anti-inseto. Podem atuar também como mensageiros na interação planta-ambiente (STAAIJ et al., 2002).

Dados experimentais sobre o efeito do UV-B na síntese de flavonóides em três espécies de gramíneas e uma *Cyperaceae* foram obtidos. Comparando a morfologia e a sistemática, gramíneas e *Cyperaceae* estão estreitamente relacionadas. Os flavonóides são

abundantes porque estas espécies desenvolveram-se nos estádios posteriores da evolução das plantas. Pode-se esperar que flavonóides sejam compostos importantes na absorção do UV-B, comparadas a líquens e musgos. STAAIJ et al (2002) estudaram espécies originárias de locais com vários fluxos naturais de UV-B. Se espécies são adaptadas ao local e ao regime de UV-B elas podem desenvolver diferenças na susceptibilidade e podem diferir na capacidade de síntese de flavonóides quando confrontadas com aumento da radiação ultravioleta.

Deschampsia antarctica da Antártica foi exposta ao aumento no nível de radiação UV-B. Na costa oeste da Antártica houve o dobro de radiação UV-B de novembro de 1988 a 1996. Esta planta cresce neste habitat natural controlando sua sobrevivência neste nível de ultravioleta aumentado, STAAIJ et al. (2002). *Deschampsia borealis* cresce em regiões onde existe o buraco na camada de ozônio na Região Ártica.

Como exemplo de espécies que crescem com alto fluxo natural de UV-B na costa da Holanda cita-se *Calamagrostis epigeios* e *Carex arenária*. Estas espécies, quando comparadas a *D. antarctica* e *D. borealis*, tiveram aumento no nível de UV-B em anos recentes. Amostra de *C. apigeos* e *C. arenaria*, de plantas crescidas em casa de vegetação foram comparadas com amostras de plantas cultivadas no campo. O impacto da radiação ultravioleta pode ser confundido com o efeito de outros fatores estressantes nas plantas em condições de campo. (STAAIJ, 2002).

A importância dos flavonóides nestas espécies visando proteção ao ultravioleta, das plantas cultivadas na radiação de UV-B serão focalizados a seguir, com base no trabalho de SAAIJ et al. (2002).

Resposta no Crescimento

Após 12 semanas de cultivo com fluxo de radiação zero, fluxo de radiação ambiental e alto nível de radiação UV-B, nenhuma diferença significativa na massa seca ou na relação parte aérea / raiz foi detectada entre as plantas de *D. antarctica*, (Tabela 1).

Tabela 1. Massa seca (g) e relação parte aérea / raiz em planta de *D. antarctica* cultivadas 12 semanas nos níveis de UV-B: zero, nível de UV-B ambiente ($2,5 \text{ kJ m}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) ou alto nível de UV-B ($5 \text{ kJ m}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). N = 24 (com S.D.). Adaptado de STAAIJ et al., 2002.

Variável	Valores de UV-B		
	Zero UV-B	Ambiente UV-B	Alto UV-B
Massa Seca	0,27 (0,08)	0,32 (0,1)	0,30 (0,07)
Relação parte aérea / raiz	2,81 (1,13)	2,71 (0,91)	3,03 (0,62)

Quantidade Total de Flavonóides

Nas plantas cultivadas no nível zero, ambiente ou alto UV-B em condições controladas, foi detectado efeito na quantidade total de flavonóides na *C. epigeios* (Tabela 2). Nas espécies *C. arenaria*, *L. antartica* e *D. borealis* nenhum efeito foi encontrado (Fig 3).

A concentração total de flavonóides em plantas de *C. arenaria* cultivadas no campo e com alta radiação foi significativamente maior do que no tratamento com nível de UV-B ambiente, em janeiro (Fig 1)

Tabela 2. Diferença na área do pico total da concentração total de flavonóides presentes nos extratos foliares de *D.antartica*, *D.borealis* *C.arenaria* e *C. epigeios* cultivadas em condições controladas de irradiação de ultravioleta nível zero, nível ambiente, nível alto. Adaptado de STAAIJ (2002).

Níveis de UV-B	Diferença na área do pico total(%)			
	<i>D. antartica</i>	<i>D. borealis</i>	<i>C. arenaria</i>	<i>C. epigeios</i>
Zero	100	100	100	100
Ambiente	89	-	59	173
Alto	109	95	68	678*

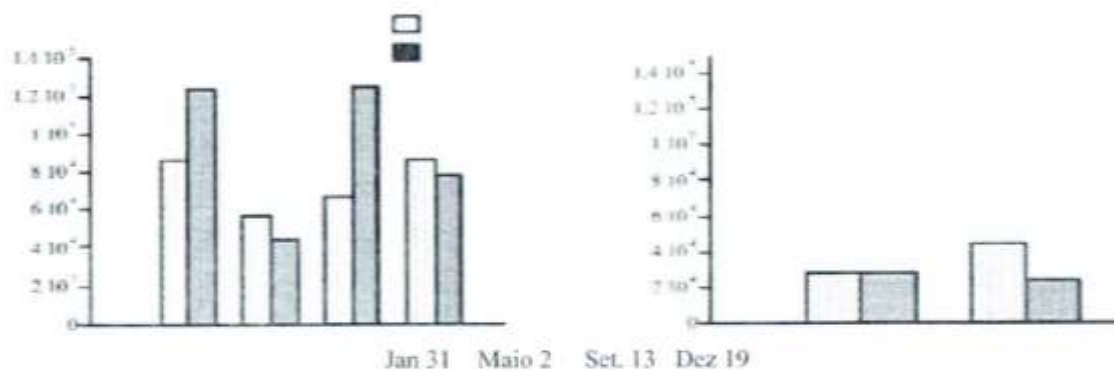


Figura 1. Área total dos picos (concentração de flavonóides) dos extratos foliares de plantas de *C. arenaria* e *C. epigeios* cultivadas no campo em condições de irradiação de UV-B ambiente e alto. Colheita em 31 de janeiro, 2 de maio, 13 de setembro ou 19 de dezembro; o asterístico indica diferença estatística significativa entre tratamentos. Adaptado de STAAIJ (2002)

Composição de Flavonóides

As áreas dos picos individuais foram medidas determinando-se mudanças na composição dos flavonóides solúveis nas folhas das plantas.

No cultivo de *D. antarctica* (Tabela 3) no nível zero de ultravioleta, nível ambiente e alto nível de UV-B não houve nenhuma indução significativa na composição dos flavonóides. Na *D. borealis* (Tabela 4) cultivada no nível zero de UV-B ou alto houve diferença na composição dos flavonóides entre os tratamentos.

Tabela 3. Área dos picos eluídos em oito tempos de retenção representando os vários flavonóides de *D. antarctica* cultivadas em condições controladas de irradiação com ultravioleta no nível zero, nível ambiente e nível alto; n = 5. Adaptado de STAAIJ (2002).

Níveis de UV-B	Área dos Picos							
	12	22	23	27	32	37	39	41
	Tempo de Retenção (min)							
Zero	6480	32561	12295	106093	8394	22668	14624	7659
Ambiente	5323	27239	11957	100800	8249	18939	10388	5714
Alto	8309	33144	13462	112850	10796	26557	16213	6425

Tabela 4. Área dos picos eluidos em cinco tempos de retenção representando os vários flavonóides de plantas de *D.borealis* cultivadas em condições controladas de irradiação com ultravioleta no nível zero e nível alto n= 5. Adaptado de STAAIJ (2002).

Níveis de UV-B	Área dos Picos				
	22	23	27	39	56
	Tempo de Retenção (min)				
Zero	21697	68435	19027	11558	4289
Alto	19742	66675	15007	13209	8721

Plantas de *C. arenaria* cultivadas em casa de vegetação no nível zero de ultravioleta tiveram alta concentração de flavonóides eluidos depois de 39 e 40 minutos maiores que as plantas do nível ambiente e nível alto (Fig 2)

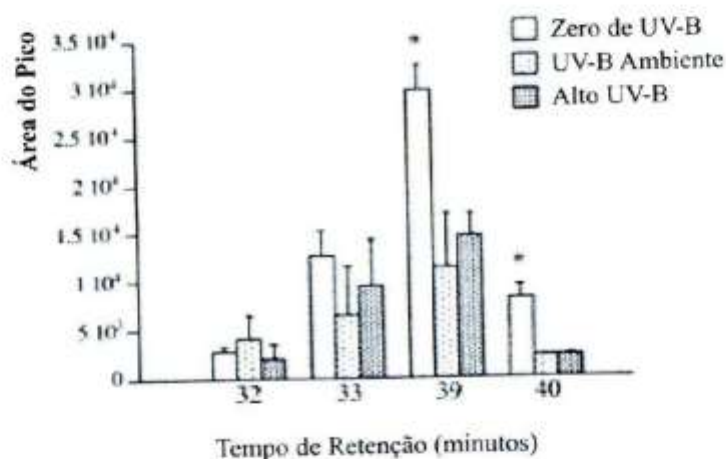


Figura 2. Áreas dos picos principais (com S. D.) eluidos dos extratos foliares das plantas de *C. arenaria* da casa de vegetação nos níveis UV-B zero, ambiente e alto. O pico eluido a 39 minutos foi identificado como tricín; n = 3 a 5. Diferenças estatísticas significativas entre tratamentos estão indicadas com asterísticos. Adaptado STAAIJ (2002).

No campo, a concentração de flavonóides em Janeiro (Figura 4) de plantas de *C. arenaria* teve diferença entre nível ambiente e plantas cultivadas no nível alto de UV-B. A Concentração de flavonóides eluidos após 32 minutos foi mais alta que em plantas expostas a UV-B do ambiente. A concentração de flavonóides eluidos depois de 38, 39 e 40 minutos foi maior nas plantas expostas ao nível alto de ultravioleta do que nas plantas expostas ao nível ambiente.

Nas plantas de *C. epigeios* cultivadas em condições controladas houve mudanças na composição de flavonóides (Figura 3). O cromatograma indicou vários flavonóides nas plantas cultivadas no nível zero, nível ambiente e nível alto. Os flavonóides eluidos depois de 16 minutos foram encontrados apenas nas plantas expostas ao UV-B do ambiente. Flavonóides eluidos de 43 e 45 minutos estavam presentes apenas nas plantas do nível zero de UV-B. Os flavonóides eluidos depois de 23 minutos foram significativamente em menor quantidade que em plantas do nível zero de UV-B do que em plantas expostas ao UV-B. Plantas de *C. epigeios* cultivadas no campo não tiveram nenhuma mudança quanto a composição de flavonoides causada pela UV-B.

Plantas de *C. arenaria* cultivadas no campo diferiram quanto a composição de flavonóides daquelas cultivadas em condições controladas. Ambos os grupos continham cinco flavonóides principais entretanto, apenas os flavonóides com tempo de retenção de 23 minutos estavam presentes em ambos grupos (Fig. 3 e 5).

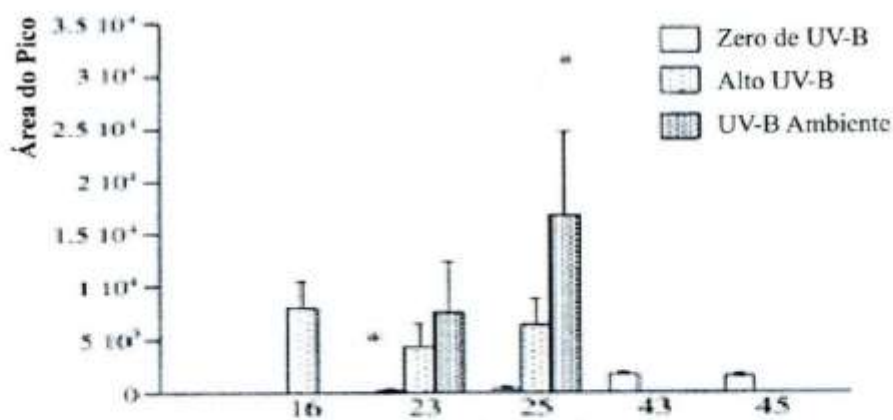


Figura 3. Área dos picos principais (com S.D) eluidos dos extrato foliares das plantas de *C.epigeios* cultivadas em casa de vegetação nos níveis de irradiação de UV-B zero, ambiente alto. Pico eluido a 39 minutos foi identificado como tricín; n = 35. Diferenças estatísticas significativas entre tratamento estão indicadas com asterístico. Adaptado STAAIJ (2002).

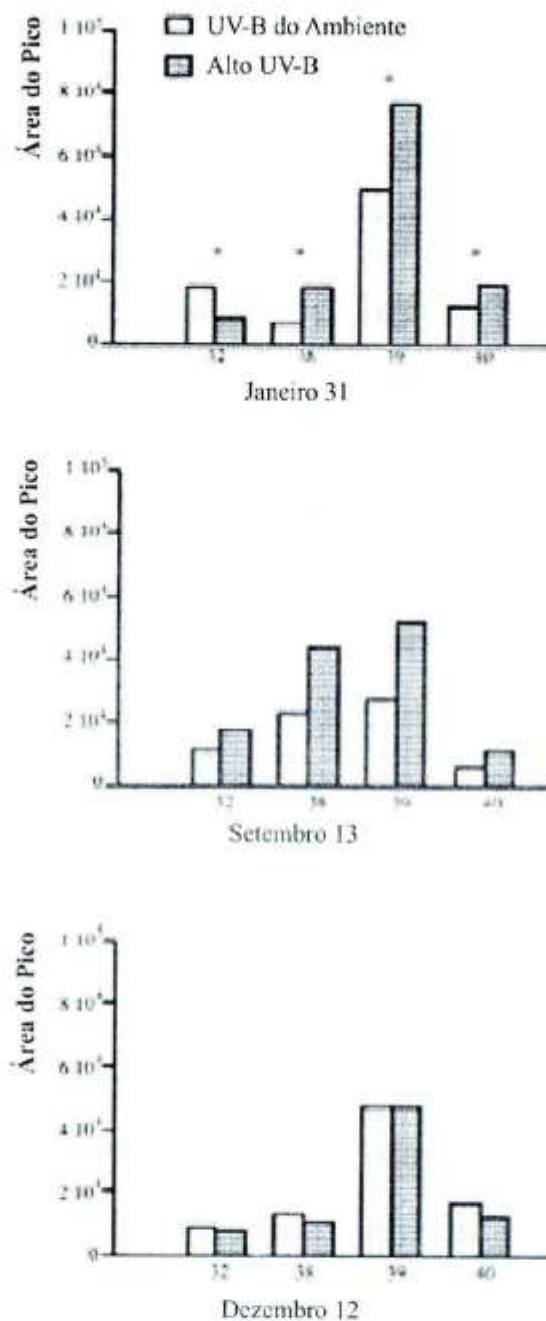


Figura 4. Áreas dos picos eluidos nos tempos de retenção representando vários flavonóides presentes em plantas de *C. arenaria* cultivadas no campo nos níveis de irradiação de UV-B ambiente e alto. Pico com tempo de retenção de 39 minutos foi identificado como tricín. Colheita em 31 de janeiro, 13 de setembro ou 12 de dezembro. N = 2. Diferenças estatísticas significativas entre tratamentos estão indicadas com asterístico. Adaptado STAAIJ (2002).

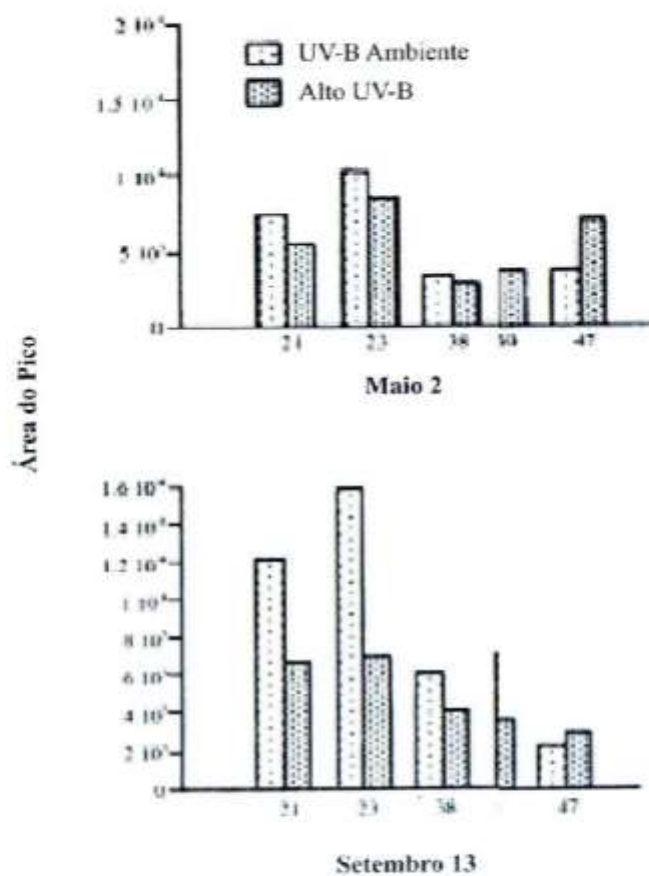


Figura 5. Áreas dos picos eluidos no tempos de retenção representando vários flavonóides de plantas de *C. epigeios* cultivadas no campo em nível de irradiação de UV-B ambiente e alto. Pico com tempo de retenção de 39 minutos foi identificado como tricín. Colheitas em 31 de janeiro, 13 de setembro ou 12 de dezembro. N = 2. Diferenças estatísticas significativas entre tratamentos estão indicadas com asterisco. Adaptado STAAI(2002).

A radiação UV-B não causou efeito na produção de biomassa de *D. antarctica*. Em ambiente controlado, o comprimento da parte aérea de *D. antarctica* foi diminuído com o aumento de UV-B (5kj^m-1 dia-1), enquanto a taxa de crescimento relativo não foi afetada pelo aumento da UV-B. Nos experimentos de campo usando nível ambiente e baixo de UV-B houve efeito negativo do nível ambiente de UV-B na produção de biomassa quando foram utilizadas as plantas de *D. antarctica* cultivadas em vasos. O impacto do UV-B na produção de biomassa desta espécie é portanto limitado.

Plantas expostas a altas doses de UV-B tiveram aumento nesta absorbância indicando aumento no nível de compostos. A absorbância dos extratos metabólicos das folhas de *D. antarctica* e de *D. borealis* a 300 nm não foi afetada pelo nível de UV-B. Plantas de *D. antarctica* "in situ" com UV-B ambiente ou a baixo do ambiental não tiveram aumento. Entretanto, plantas de *D. antarctica* cultivadas no campo em vaso tiveram aumento na capacidade total de absorção.

A quantidade total de flavonóides das folhas de *D. antarctica* e *D. borealis* não foi afetada pelos níveis de UV-B. Em plantas de *D. antarctica* coletadas durante o verão no campo houve tendência de maior quantidade de flavonóides que plantas das outras estações de crescimento. Na espécie *D. antarctica* e *D. borealis* o aumento do UV-B como resultado da redução acima de 20% da camada de ozônio da estratosfera não induziu aumento na síntese de flavonóides.

D. antarctica e *D. borealis* provavelmente estão bem adaptadas a radiação UV-B. Ambas espécies *Deschampsia* contem "orientin" como flavonóide principal. Isto é inesperado uma vez que taxonomicamente plantas relacionadas tendem a produzir tipos similares de flavonóides.

Durante o crescimento de plantas de *C. arenaria* em casa de vegetação não houve aumento nos extratos foliares em níveis elevados de UV-B. A quantidade total de flavonóides e a concentração individual de flavonóides não foram afetados pela radiação UV-B. A proporção entre os flavonóides não diferiu entre os tratamentos. A concentração e composição dos flavonóides nas plantas cultivadas, com ou sem UV-B, indica que a síntese de compostos em *C. arenaria* é apenas parcialmente controlada pelo nível de UV-B.

Quando *C. arenaria* foi cultivada nas condições naturais (no campo) a absorvância nos extratos foliares a 300 nm não foi afetada pelo aumento do UV-B. Isto é parcialmente contraditório com a quantidade total de flavonóides encontrado nas plantas cultivadas em janeiro com alto UV-B que tiveram aumento da quantidade total de flavonóides. Em setembro esta tendência também foi encontrada, embora não foi estatisticamente significativa. A maior quantidade de flavonóides em plantas (alto UV-B) não foi relacionada com a maior absorção dos extratos metabólicos foliares. Isto pode indicar que outros compostos além de flavonóides também possam exercer papel importante na absorção do UV-B. Dentre os hidroxicinamatos, principalmente ácido ferúlico e ácido *p*-cumárico, são mencionados como compostos importantes na absorção do UV-B. É conhecido que a concentração de flavonóides nas folhas pode aumentar durante a estação de crescimento.

Plantas de *C. epigeios* cultivadas em casa de vegetação continha nível mais alto de compostos do que plantas cultivadas na ausência de UV-B, contrariando os resultados até então relatados. A diferença possivelmente se deve ao curto período de crescimento. O nível de compostos que absorvem UV-B em *C. epigeios* aumentou com a idade das plantas e provavelmente não tinha atingido o máximo na colheita.

Com base nos dados de STAAIJ (2002) conclui-se que, o impacto do UV-B na concentração dos compostos extraíveis pelo ácido metanólico, incluindo flavonóides, é limitado. Porque não há redução na biomassa causado pela radiação com UV-B em *D. antartica*, *C. arenaria* e *C. epigeios*, parece provável que a concentração de flavonóides é alta o suficiente para proteger as plantas contra a radiação UV-B.

O alto UV-B induziu mudanças na concentração de fenóis nas plantas podendo haver efeito indireto do UV-B no ecossistema por causa da mudança na taxa de decomposição, conseqüente da menor atividade microbiana. Entretanto, em *C. arenaria* e *C. epigeios* não foram detectadas mudanças na taxa de decomposição.

Flavonóides hipersensíveis a radiação UV-B de mutantes de arabidópsis

A diminuição da camada de ozônio da estratosfera vai aumentar a radiação UV-B que atinge a biosfera. Esta mudança origina da atividade humana que libera clorofluorcarbono ou outros antagonistas do ozônio, resultando na diminuição do ozônio. O crescimento e a produtividade das plantas estão comprometidas pelo excesso de UV-B que danifica o DNA, RNA e proteínas. As plantas empregam vários mecanismos de proteção ao UV-B, incluindo-se folhas reflexivas de UV-B e folhas espessas (LI et al., 1993)

Biodiversidade

Compostos flavonóides que absorvem luz, (grupo de produtos secundários aromáticos derivados da fenilalanina) promovem proteção das plantas quanto aos efeitos deletérios da radiação UV-B. Esta hipótese parece plausível porque flavonóides que absorvem UV-B são acumulados nas células epidérmicas das folhas, onde protegem o interior da camada das células, dos danos do UV-B. Além disso, a síntese destes compostos é induzida pelo UV-B em várias espécies de plantas como seria esperado. Plantas que crescem em condições que induzem a síntese de flavonóides são mais tolerantes a radiação UV-B. Entretanto, condições ambientais que induzem síntese de flavonóides, tais como limitações de nutrientes ou pré-tratamento com alta intensidade de luz branca, causam múltiplos efeitos fisiológicos e mudanças no desenvolvimento (GOTTLIEB, KAPLAN E BORIN, 1996).

Radiação UV-B e a evolução dos compostos fenólicos

A radiação solar do UV-B é conhecida por estimular as enzimas PAL (Fenilalanina-amônia-liase) e CHS (chalcona sintase) e outras enzimas da rota dos fenilpropanóides. A PAL catalisa a transformação de fenilalanina em ácido cinâmico trans, o qual conduz a formação de compostos fenólicos complexos tal como flavonóides, taninos e lignina. As mudanças químicas dos compostos que absorvem UV-B exerce importante papel na evolução das plantas aquáticas para as terrestres. A complexidade dos polifenóis tende a aumentar com o avanço evolucionário de algas clorofíceas, briófitas, pteridófitas, gymnosperma à angiosperma. O alto grau de polimerização dos fenólicos é encontrado em plantas terrestres, como os flavonóides, tanino e lignina.

Além da absorção da radiação ultravioleta, os compostos polifenólicos tem muitas outras funções tais como: a) alelopatia, b) sinal de transdução, c) hormônio de plantas, d) defesa química contra microorganismos, herbívoros, e) estruturas de sustentação, f) rigidez estrutural da lignina em plantas superiores, g) suporte no transporte da água pelos vasos do xilema (ROZEMA et al., 2002).

Filtro Interno: Aspecto da aclimação ao UV-B nas plantas superiores

A radiação fotossinteticamente ativa penetra efetivamente dentro do tecido do mesófilo e é atenuada em 20 a 30% quando passa pela epiderme de algumas folhas. Os cloroplastos assim como o núcleo são as organelas onde as lesões primárias podem resultar da radiação. Desta forma, a radiação seria seletivamente filtrada removendo o componente do comprimento de onda curta do ultravioleta antes de atingir os cloroplastos, enquanto ao mesmo tempo forneceria atenuação mínima no comprimento de onda 400 a 700 nm que é efetivamente utilizado pelo sistema fotossintético. O filtro seletivo nas folhas das plantas pode ser diferente em muitas plantas em seu habitat natural. Na capacidade fotossintética há menor dano significativo no ácido nucléico devido a radiação solar UV-B. Este filtro seletivo é, entretanto imperfeito. Danos no sistema fotossintético das folhas de muitas plantas pode ser demonstrado. Por outro lado, algumas radiações fotossinteticamente ativas (UV-A, violeta e azul) podem ser absorvidas pela epiderme. (CALDWELL, ROBBERECHT e FLINT, 1943).

Atenuação da radiação do UV-B no tecido das plantas

A orientação das folhas tem pouca influencia na radiação UV-B global total (feixes direto + difuso) que atinge a superfície foliar. Pelo menos 90% da radiação ultravioleta B que atinge a superfície foliar da planta é atenuado antes de atingir o tecido do mesófilo e muito pouca radiação deste comprimento de onda penetra completamente no tecido do mesófilo (Figura 1).

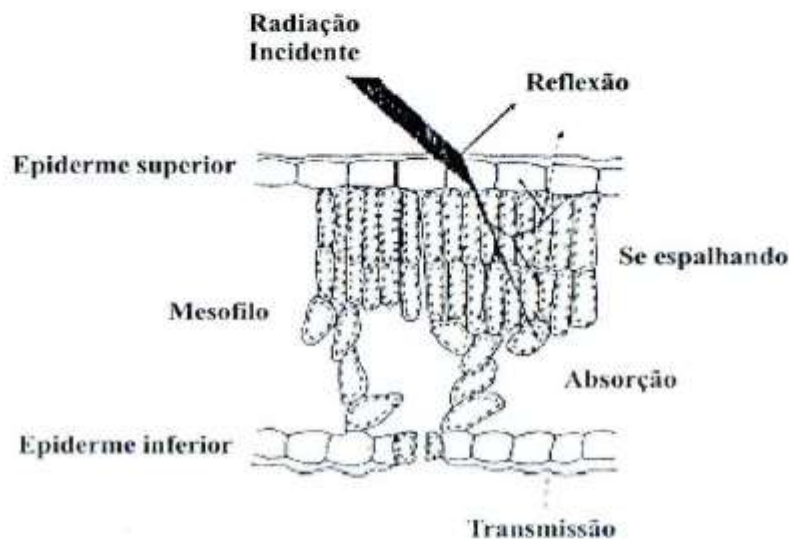


Figura 1. Participação da radiação UV-B incidente na superfície glabra da folha, baseada em 100 espécies. A largura das setas indica a magnitude da refletância da superfície foliar (menos que 5%), a atenuação na epiderme (médio de 90%, com limite de 75 a 95%). A difusão e a absorção dentro do mesófilo resulta em menos de 1% da radiação UV-B incidente partindo do mesófilo e entrando na epiderme. Adaptado de STAAIJ 2002.

Em muitas espécies, a refletância da superfície foliar ao UV-B é menos de 5% e a maior parte da atenuação resulta da absorção e dispersão dentro do tecido da epiderme. Há poucas espécies com refletância na superfície foliar na ordem de 20 a 70% no comprimento de onda do ultravioleta. Há comprovações em algumas espécies com superfície glabra, como *Dudleya briotti* e *Piceia pungens*, ou em espécies com densa pubescência. Esta refletância não parece ser seletiva ao comprimento de onda em espécies com alta refletância ao UV-B. A refletância é a mesma no espectro do visível. *Piceia pungens* tem a mesma refletância ao comprimento de onda específico do ultravioleta que é duas vezes a refletância no visível. Alta refletância na superfície foliar da radiação visível necessariamente limita a eficiência fotossintética por causa da redução na fluência da radiação fotossinteticamente ativa (400-700 nm) atingindo os cloroplastos. O comprimento de onda seletivo de absorção na epiderme de diversas espécies é muito mais pronunciado.

Em razão de muitos compostos das células das plantas que absorvem UV-B estarem contidos dentro do vacúolo este é o local de maior absorção do UV-B na epiderme. Compostos que absorvem ultravioleta, tal como flavonóides, podem ocorrer dentro de organelas específicas como cloroplastos. Compostos como flavonóides e derivados fenólicos são incorporados dentro da membrana cuticular ou na parede celular causando absorção do UV-B nestas estruturas. Lipídeos e celulose tem pouca absorção do ultravioleta. A atenuação do UV-B por estes componentes estruturais pode ser substancial. Não há nenhuma correlação entre espessura da epiderme e transmitância do UV-B nesta camada de tecido.

É possível medir a atenuação do UV-B pelos pigmentos celulares que absorvem luz ultravioleta via membrana cuticular e parede celular do tecido epidermal. A transmitância da epiderme fresca pode ser medida. A extração é feita com solvente acidificado metanol-agua o qual remove muito do soluto que absorve compostos, tais como

flavonóides e fenólicos relacionados. A transmitância do UV-B pode então ser medida quanto aos constituintes remanescentes extraídos da epiderme: membrana cuticular, estrutura da parede celular e constituinte residual celular.

Flavonóides: filtro irregular

Flavonóides e compostos fenólicos relacionados agem como pigmentos seletivos na filtragem do comprimento de onda do ultravioleta. Outra classe destes compostos ocorre em plantas superiores. Todas espécies terrestres possuem alguma variedade de flavonóide. Nos flavonóides das folhas há bastante absorvância do UV-B e muito pouca absorção no comprimento de onda do visível. A Antocianina constitui exceção porque absorve no comprimento de onda do visível e muito pouco no UV-B.

A quantidade de flavonóides nas plantas varia entre as espécies. Varia também com o estágio de desenvolvimento e com tecidos da epiderme e do mesofilo da mesma folha. O conteúdo e a composição dos flavonóides é alterado pelas condições ambientais também. A luz ambiental exerce influência. A síntese dos flavonóides pode ser induzida pela radiação por meio do sistema de fitocromo, e em resposta a alta intensidade da luz azul, verde e vermelha. A indução específica dos flavonóides pela radiação UV-B também tem sido demonstrada (WELLMAN, 1982). O modo pelo qual a síntese dos flavonóides pode ser induzida pela luz de vários comprimento de onda é dependente não apenas da espécie, mas também de fatores tal como o estágio de desenvolvimento da planta. É esperado que plantas terrestres crescendo na luz, até sem o componente UV, possuam algum flavonóide. A indução da síntese dos flavonóides pelo UV em benefício das plantas ocorre dentro de horas. Plântulas que estão nos primeiros dias críticos já possuem flavonóides.

Uma vez sintetizado, a quantidade de flavonóides não é estática mas se altera e a concentração total de flavonóides variará com o tempo. Novamente, a concentração de flavonóides dependerá da

radiação ambiental assim como de outros fatores. Há flutuação na quantidade de flavonóides em outras camadas de tecidos tal como epiderme foliar. LAUTENSCHLAGER-FLEUR (1955) mostrou que transmitância do UV na epiderme de *Vicia faba* cultivada no campo condições de casa de vegetação variou consideravelmente em 2 horas. Depois de poucos dias nublados a transmitância de epiderme ao UV em plantas cultivadas em estufa foi consideravelmente maior do que depois de tempo claro com intensa radiação solar. Em estufa no inverno, com tempo nublado a transmitância da epiderme atingiu valores tão altos quanto 50%.

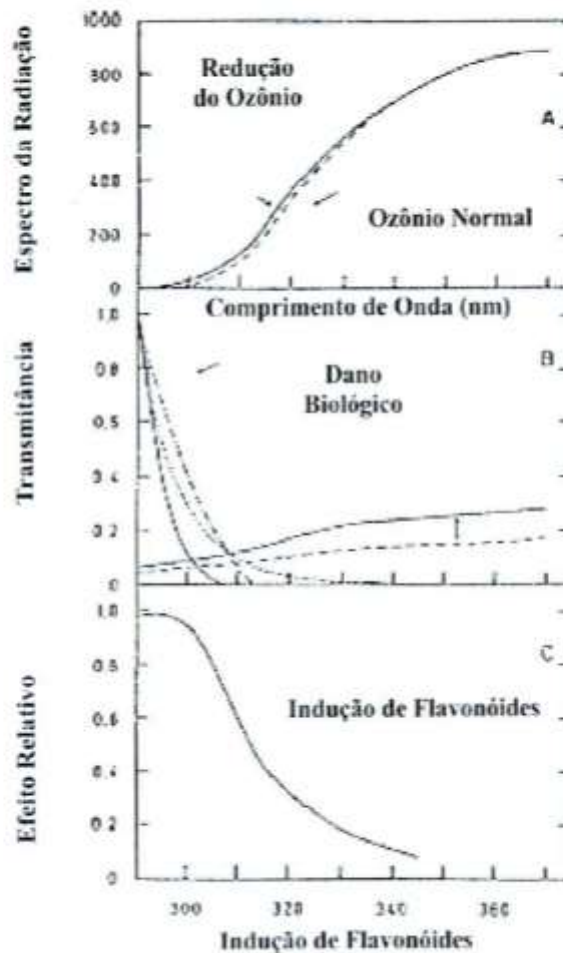
A radiação das plantas com UV-B resulta na redução da transmitância da epiderme ao UV em algumas espécies crescidas em condições de estufa. O contrário acontece em plantas cultivadas na ausência da radiação UV-B, (ROBBERECHT E CALDWELL, 1983). Esta indução específica do UV-B alterando a transmitância da epiderme deve-se a mudanças nos flavonóides que absorvem UV. A síntese de determinados flavonóides em algumas espécies pode ser especificamente induzida pela radiação UV-B, significando que plantas no campo respondem ao aumento da radiação UV-B solar com decréscimo na transmitância da epiderme. Seria resposta de aclimatização ao aumento de radiação solar do UV-B e à redução do ozônio estratosférico.

A redução do ozônio estratosférico resultaria na intensificação da radiação primariamente em UV-B. A faixa de onda onde a radiação solar do UV-B seria mais aumentada é também a faixa onde o UV-B é mais deletério como indicado pelo espectro ação do dano biológico mostrado na Fig. 3 (CALDWELL, 1981). A transmitância da epiderme pode ser diminuída após irradiação UV-B, embora decréscimos ocorrem em UV-A (320- 400 nm) porque muitos dos flavonóides têm absorvância máxima na faixa de onda do UV-A. Na figura 3 consta a ação do espectro de indução de flavonóides em plântulas de salsa de milho. Dentro da faixa de onda do UV-B, a indução dos flavonóides aumenta com: a) o decréscimo de onda b) com relativo aumento c

radiação solar UV-B e c) relativa efetividade da radiação do UV-B em causar danos biológicos (Fig. 3). Além disso, não está claro como muitas espécies responderiam ao aumento da radiação UV-B pelo aumento na síntese de flavonóides, e se a consequência do aumento na absorção da radiação UV-B na epiderme e outros tecidos compensariam o aumento da radiação UV-B incidente.

O aumento nos pigmentos flavonóides na epiderme incrementa a proteção do mesófilo embora muitos destes pigmentos estejam contidos dentro do vacúolo.

Figura 3. Irradiância do espectro solar ao meio dia no verão (latitude da zona temperada, nível do mar), considerando espessura média do ozônio de 0,32 atm cm e redução na camada de ozônio de 16% (A) figura 3. O espectro da ação do dano biológico a planta está em (B) figura 3. Estes incluem dano do DNA (linha sólida), inibição temporária do espectro fotossintético (linha tracejada e dano generalizado na planta pela ação do espectro (linha tracejada com ponto) figura 3. Esta mudança na transmitância da epiderme do UV de *Oenothera stricta* seguida pela irradiação UV-B em condições de estufa é também descritos em (B).

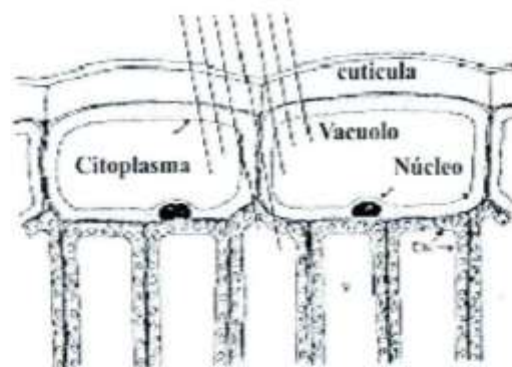


A ação do espectro na indução dos flavonóides em plântulas de salsa e milho é mostrada em (C) figura 3. Adaptado de (CALDWELL, ROBBERECHT e FLINT, 1983).

Como retratado na figura 4, o tecido da epiderme não filtra homoganeamente, e o aumento de flavonóides no vacúolos, embora cause decréscimo na transmitância da epiderme, não provoca decréscimo uniforme quanto a penetração do UV no mesofilo. Alguns cloroplastos no tecido do mesofilo adaxial ainda receberiam suficiente fluxo danoso. Aumento dos pigmentos que absorvem UV-B dentro do tecido do mesofilo seguido pela irradiação do UV-B tem sido documentado por (ROBBERECHT e CALDWELL, 1983) e assim esta reação de proteção parece ocorrer na camada de tecido profundo também.

A intensa radiação UV-B pode resultar no dano profundo do tecido da epiderme resultando em alteração da camada de cera da cutícula e eventual morte. Não há relato que tal dano ocorra na natureza. Com moderada intensificação da radiação solar do UV-B não está claro se células da epiderme, incluindo células guardas, poderiam ser afetadas. O núcleo das células da epiderme comprime o vacúolo (Fig 4).

Figura 4. Representação da epiderme como filtro não uniforme da radiação UV-B (linhas paralelas inclinada). Pigmentos que absorvem ultravioleta ocorreriam principalmente no vacúolo, embora alguns compostos tal como leucoantocianina podem ser encontrados na parede celular.



Se as membranas celulares são os próprios alvos da radiação solar UV-B não se sabe. Até dentro de organelas, como os cloroplastos, a radiação UV-B pode ser atenuada significativamente. Os flavonóides tem sido encontrados nos cloroplastos que podem servir como filtro úteis.

Aparente aclimatização das plantas à radiação ultravioleta

Algumas espécies poderiam se aclimatizar ao aumento da radiação solar UV-B pela mudança nas propriedades ópticas da folha. Há excessivo gradiente de UV-B na vida da região ártica alpina acima da tundra ártica, ao nível do mar, desde o norte do Alasca até os Alpes. Na temperatura e latitude ártica, onde a radiação solar UV-B é menos intensa, há considerável variabilidade entre as espécies quanto a transmitância da epiderme. Entretanto, em alta radiação UV-B nos ambientes alpinos e nas latitudes equatorial e tropical, a transmitância UV da epiderme de todas as espécies é muito pequena, menos que 2%. Isto inclui diversas espécies da latitude temperada introduzidas nestes ambientes de baixa latitude.

A existência de plantas exóticas, onde a radiação solar UV-B biologicamente é mais que 3 vezes maior, atesta a capacidade de aclimatização destas espécies. A capacidade de tolerar a intensa radiação solar UV-B tem sido acompanhada somente por meio de alterações na propriedade óptica foliar. Assim, considerável preocupação existe quanto a capacidade da flora tolerar o aumento na radiação solar UV-B e até redução na camada de ozônio (CALDWELL, ROBBERECHT e FLINT, 1983).

Efeito da radiação UV-B no crescimento e teor de tanino em *Wedelia paludosa* D.C (Asteraceae)

Plantas terrestres tem sua proteção contra os raios UV-B (280 315 nm) garantida pelo filtro molecular constituído de produtos da via pós-fenilalanínica, quais sejam, flavonóides, fenilpropanóides, adaptados evolutivamente ao comprimento e à intensidade desta radiação (STAFFORD, 1990). Estes metabólitos especiais absorvem fortemente no espectro do UV-B. Enzimas envolvidas na biossíntese de flavonóides e fenilpropanóides (fenilalanina amônia liase, chalcona sintetase) são induzidas pela radiação UV-B (BRUNS, HAHLSOCK e SCHAFER, 1986).

Com a diminuição do ozônio (O₃) da estratosfera, o fluxo da radiação UV-B que atinge a terra pode aumentar. Tal aumento causaria sérias conseqüências, entre as quais o aumento do risco de câncer de pele (BLUMTHLER e AMBACH, 1990).

Plantas ricas em compostos fenólicos são empregadas na medicina tradicional no tratamento de diversas moléstias orgânicas e tem sido relatadas atividades antioxidativa, antiinflamatória e vasodilatadora, ação antialérgica, atividade contra o desenvolvimento de tumores, antiulcerogênica, atuação antiplaquetária, antimicrobiana e antivirais (OLIVEIRA, 2000).

FIDELIS (2002) estudou da radiação UV-B sobre o crescimento e teor de tanino o efeito na espécie *Wedelia paludosa* D.C (Asteraceae). As mudas foram previamente enraizadas em bandejas plásticas e quando estavam com 15 cm, foram transferidas a vasos de 2 litros sendo expostas a luz UV-B. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente ao acaso com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo período de exposição diária (0,5, 10 e 15 minutos) à lâmpada que emitia radiação no comprimento do UV-B durante 25 dias. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa- MG.

Análise de tanino

O método de análise foi o espectrofotométrico. Cem mg da planta desidratada triturada foram submetidos a três extrações consecutivas com metanol (3mL) à quente, sendo cada extração com duração de dez minutos. Os extratos resultantes foram pipetados e filtrados em algodão, em frascos de 10 mL e transferidos a frascos de 50 mL completando o volume até 10 mL, com metanol. Na preparação da curva padrão, foram adicionados em tubos de ensaio de 15 mL da solução padrão de ácido tânico (0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; e 1,0 mL), 7,5 mL de água destilada, 0,5 mL de reagente de Folin-Denis e 1,0 mL de solução saturada de Na_2CO_3 , diluindo-se até 10 mL com água. Ministrou-se bem e depois de 30 minutos foi determinada a absorvância a 760 nm, obtendo-se a curva padrão com a absorvância em função de mg de ácido tânico/100mL. As leituras foram feitas em espectrofotômetro de duplo feixe Hitachi U- 2000, sendo realizada uma leitura por amostra. Na preparação da amostra destinada a leitura de absorvância, foi pipetado 0,3 mL do extrato em frascos de 50 mL, no qual foram adicionados 7,5 mL de água destilada, 0,5 mL de reagentes Folin-Denis e 1 mL de solução de carbonato de sódio, sendo completado o volume até 10 mL com água destilada. Após adição dos reagentes, esperou-se 30 minutos até a leitura de absorvância a 760 nm. De acordo com a curva padrão, foi determinada a concentração das amostras em mg de ácido tânico / 100 mL. Foi feita a conversão em porcentagem de tanino por 100 mg de amostras de planta desidratada.

Análise de crescimento

O crescimento foi quantificado por meio da massa total de plantas frescas (MFT) número de internódios e ramos (NE, NR), comprimento dos ramos (CC), número de folhas pequenas, médias e grandes (NFP, NFM, NFG) e massa do caule seco e de folhas secas (MSC, MSF) durante 25 dias.

Resultados

No quadro 1 consta o resumo da análise de variância dos dados. Apenas o número de ramos, número de folhas e massa do caule seco foram influenciados pela radiação UV-B (Figura 1,2 e 3).

Quadro 1. Resumo da análise de variância das variáveis tanino, massa total de plantas frescas (MFT), número de internódios, comprimento de ramos, número de ramos (NR), número de folhas pequena, média e grande (NFP, NFM e NFG) e massa do caule seco e folha seca (MSC, MSF) em função do tempo de exposição de plantas de *Wedelia paludosa* a radiação UV-B. (FIDELIS, 2003).

Quadrado médio e significância											
FV	GL	Tanino	MFT	NE	CC	NR	NFP	NFM	NFG	MSC	MSF
UV-B	3	0,082 ^{NS}	1,888 ^{NS}	136,083 ^{NS}	175,307 ^{NS}	10,167 ^{NS}	486,062 ^{NS}	196,750 ^{NS}	79,759 ^{NS}	0,181 ^{NS}	0,002 ^{NS}
Resíduo	12	0,056	3,060	45,292	118,901	8,708	462,062	136,792	70,521	0,317	0,09
CV%		8,70	16,04	16,46	15,460	38,08	63,11	57,40	68,20	18,96	21,73
Média Geral		2,714	10,857	40,875	70,500	7,750	34,062	20,375	12,312	0,94	1,44

*, NS, Significativo a 5% e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Figura 1. Número de ramos de *Wedelia paludosa* em função do tempo de exposição a radiação UV-B (FIDELIS, 2002).

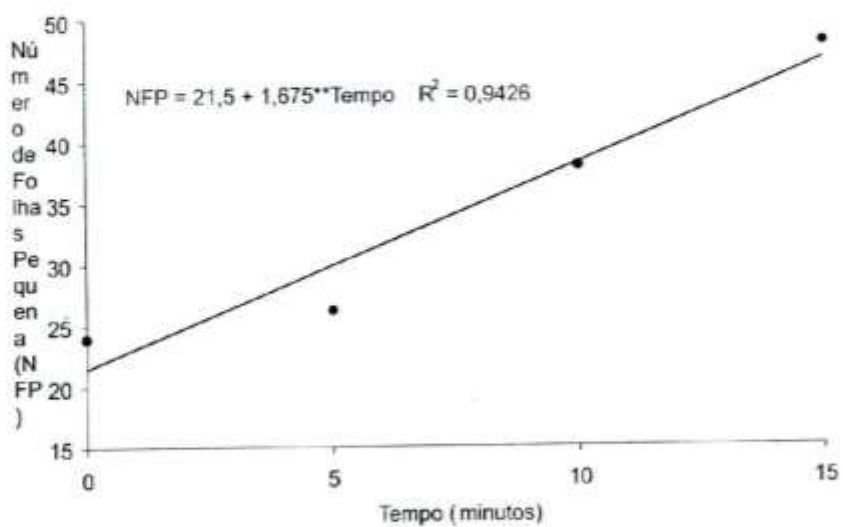


Figura 2. Número de folhas de *Wedelia paludosa* em função do tempo de exposição a radiação UV-B (FIDELIS, 2002).

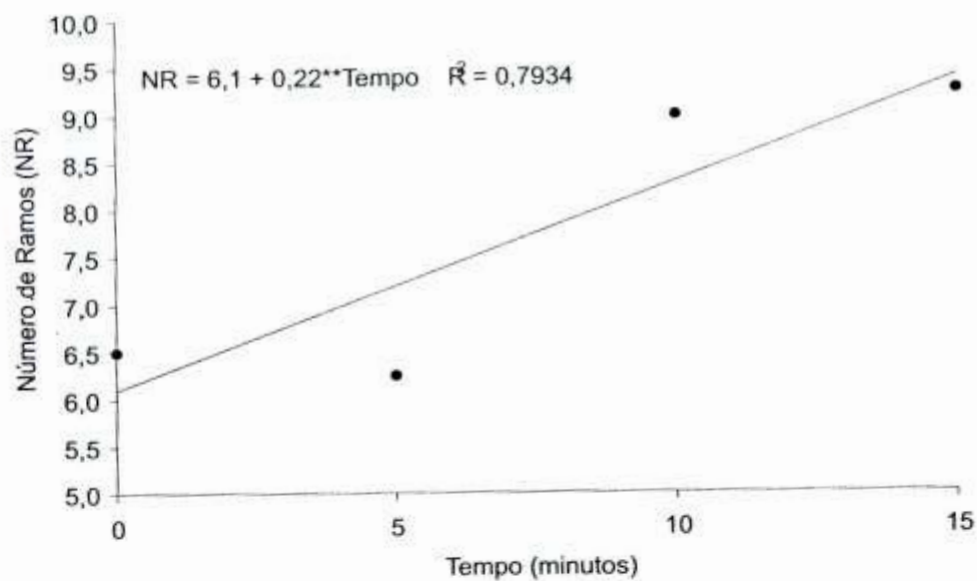
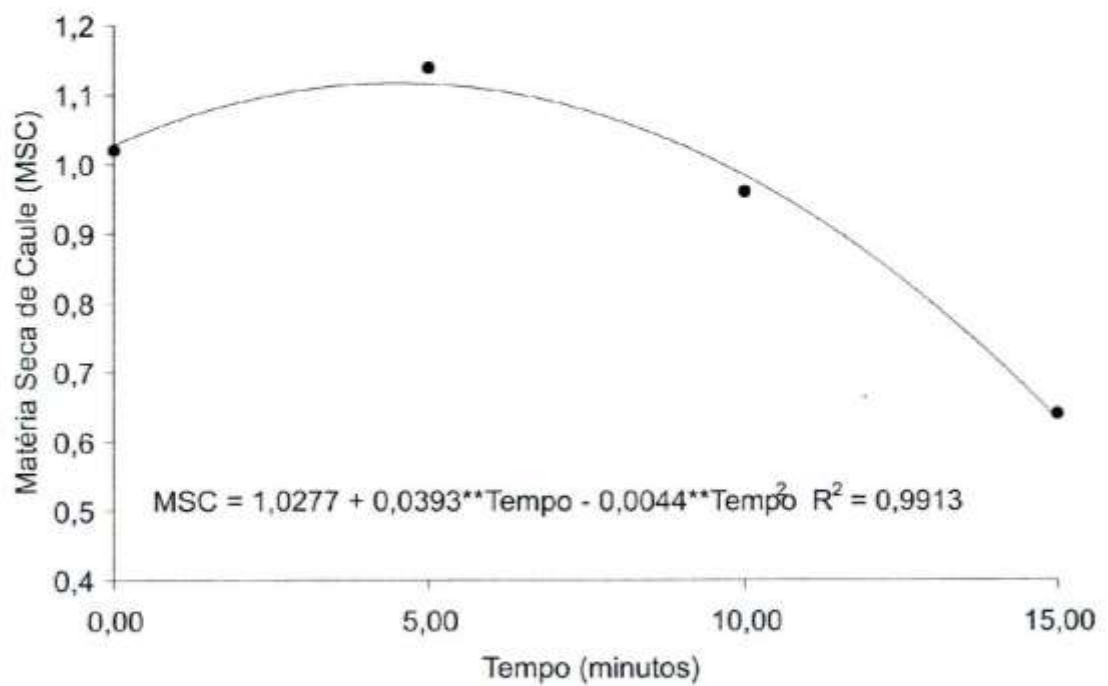


Figura 3. Massa de plantas secas de *Wedelia paludosa* em função do tempo de exposição a radiação UV-B (FIDELIS, 2002).



As variáveis número de ramos e número de folhas pequenas (figuras 1 e 2), tiveram comportamento linear crescente com o aumento do tempo de exposição das plantas à radiação. O número de ramos no tratamento testemunha foi 6,1 ramos. Em 15 minutos de exposição diária passou a 9,4 ramos, com aumento de 55%. O número de folhas pequenas aumentou da mesma forma que o aumento do tempo de exposição à luz UV-B. No tratamento testemunha formou-se 21,5 ramos em média e no tratamento de 15 minutos, o número de ramos foi aumentado até 46,62 ou seja 116,9%.

A variável massa do caule seco, teve comportamento quadrático. O ponto (tempo de exposição) que proporcionou o máximo em grama de massa acumulada do caule seco foi 4,46 minutos, estimado pela equação de regressão. Neste ponto, a massa do caule seco foi 1,11g; sendo o aumento de 8,46% em relação ao tratamento testemunha. Qualquer exposição das plantas além deste valor (4,46 minutos), à radiação UV-B causa redução no acúmulo de massa de caules secos.

Nas figuras 4 e 5 constam as fotografias do cromatograma de ácido caurenóico e luteolina, no caule, folha e flor utilizando os extratos álcool etílico e hexano. Pela figura 4 pode-se observar a presença de ácido caurenóico nos três órgãos da planta; entretanto, não foi observado a presença de luteolina.

Não houve efeito significativo da exposição a luz UV-B sobre o teor de tanino e sobre o acúmulo de massa das folhas secas.

BIBLIOGRAFIA

BLUMTHALER, M. e AMBACH, W. Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in Alpine Regions. *Science*, London, v.248, Abril, 1990.

BRUNS, B. HAHLBROCK, K. e SCHAFER, E. Fluence dependence of the ultraviolet-light-induced accumulation of chalcone synthase mRNA and effects of blue and far-red light in cultured parsley cells. *Planta*, Berlin, v.169, p.393-398, 1986.

CALDWELL, M.M. Plant response to solar ultraviolet radiation. In *Encyclopedia of Plant Physiology, Physiological Plant Ecology I. Responses to the Physical Environment* (O. L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler. Eds), v.12A, pp.168-198. Springer-Verlag, Berlin. ISBN 3-540-10763-0, 1981.

CALDWELL, M.M. ROBBERECHT, R.; FLINT, S. D. Internal filters: prospects for UV-acclimatization in higher plants. *Physiol. Plant.*, v 058, p. 445-450, 1983.

FIDELIS, I. Efeito da radiação UV-B no crescimento e teor de tanino em *Wedelia paludosa* D.C. (Asteraceae). Viçosa: UFV, 2002. Ensaio preliminar.

GOTTLIEB, O. R.; KAPLAN, M. A. C.; BORIN, M. R. BIODIVERSIDADE: Um Enfoque químico-Biológico. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 268p. 1996.

LAUTENSCHLAGER-FLEURY, D. Über die Ultravioletturchlässigkeit von Blattepidermen. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.* v. 65, p.343-386, 1955.

LI, J.; LEE, T. M. O.; RABA, R.; AMUNDSON, R. G.; LAST, R. Arabidopsis flavonoid mutants are hypersensitive to UV-B irradiation. *The Plant Cell*, v. 5, p.171-179, Feb., 1993.

OLIVEIRA, T.T.; LOPES, R. M.; NAGEN, T. G.; PINTO, A. S. Farmacologia de flavonóides no controle hiperlipidêmico em animais experimentais. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, Brasília, n.17, p. 18-22 Nov-Dez, 2000.

ROBBERECHT, R.; CALDWELL, M.M. Protective mechanisms and acclimatization to solar ultraviolet-B radiation in *Oenothera stricta*. *Plant Cell Environ.* V.6; (in press), 1983.

ROZEMA, J.; BJORN, L.O.; BORNMAN, J. F.; GABERSSEIK, A.; HADER, D. P.; TROST, T.; GERM, M.; KLISCH, M.; GRONIGER, A.; SINHA, R. P.; LEBERT, M.; HE, Y.Y.; BUFFONI-HALL, R.; BAKKER, N.V.J.; STAAIJ, J. VAN de; MEIJKAMP, B. B. The role UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems- an experimental and functional analyses of the evolution of UV- absorbing compounds. *Journal of Photochemistry B: Biolog*, v.66, p. 2-12, 2002.

STAAIJ, J. VAN de; BAKKER, N.V.J. de; OOSTHOEK, A.; BROEKAMN, R.; BEEM, A. VAN; STROETENGA, M.; AERTS, R.; ROZEMA, J. Flavonoid concentrations in three grass species and a sedge grown in the field and under controlled environment conditions in response to enhanced UV-B radiation. *Journal of Photochemistry B: Biolog*, v.66, p.21-29, 2002.

STAFFORD, H. A. *Flavonoid Metabolism*, p.209. Boca Raton: CRC Press, 1990.

WELLMANN, E. Regulation der Flavonoidbiosynthese durch ultraviolettes Licht und Phytochrom in Zellkulturen und Keimlingen von Petersilie (*Petroselinum hortense* Hoffm.). *Ber. Dtsch Bot. Ges.* v.87, p.267-273. 1982.