

MODIFICAÇÕES MORFOLOGICAS ADAPTATIVAS NAS FOLHAS DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris L.*) SOB CONDIÇÕES DE SOL E SOMBRA

Vera Maria Medeiros

Esc. Est. Profª Margarida Lopes - Santa Maria

Vanoli José Xavier Lopes

Departamento de Biologia - Centro de Ciências Naturais e Exatas

UFSM - Santa Maria, RS

RESUMO

Este trabalho foi realizado com folíolos centrais das primeiras folhas trifolioladas de plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris L.*), desenvolvidas em diferentes condições de luminosidade, sob o sol (intensidade média diária de radiação = $620,000 \text{ W.m}^2$) e sob a sombra (intensidade média diária de radiação = $9,078 \text{ W.m}^2$). As plantas, num total de 20 em cada tratamento, cresceram em potes contendo solo cuja composição química e quantidade de água foram idênticas nos dois tratamentos. As medidas foram efetuadas 10 dias após a emergência da primeira folha trifoliolada. Foi verificado o efeito quantitativo do sol e da sombra, através da avaliação dos seguintes parâmetros: área foliar, densidade estomática e índice estomático de cada epiderme, espessura do mesofilo e dos feixes vasculares da nervura central. Comparando-se os valores extremos obtidos entre folhas em situação de sol e de sombra, verificou-se que a amplitude de variação, em todos os parâmetros, é maior em plantas desenvolvidas sob a luz solar. Também as medidas obtidas em cada um destes parâmetros foram sempre mais altas em condições de sol, exceto a área foliar, cujo valor médio foi superior em condições de sombra. A análise estatística das médias obtidas em cada tratamento revelou existir uma diferença muito significativa entre folhas desenvolvidas sob o sol e sob a sombra.

ADAPTABLE MORPHOLOGICAL ALTERATIONS IN COMMON BEAN LEAVES (*Phaseolus vulgaris L.*) UNDER DARKNESS AND SUN CONDITION

This work was realized with the first central trifoliate leaves of the kidney bean plants, grown in two different light conditions: under darkness and under sun light.

The amount of 20 plants, per treatment, grown in containers with the some kind of soil, with land nutrient solution and water quantity were the some in both treatments.

The measures were realized 10 days after the first trifoliate leaves had appeared.

Through the valuations of the stomatic density, stomatic average percentualy per each epiderm, mesofilo thickness and vascular bundle was verified the quantitative effect of the darkness and sun light on this four items.

In this work it was also verified the leaves area in each treatment.

The leaves grown under the sun light had shown more variatin between the results obtained in each item. (parâmetro)

Also the averages obtained in each studied aspect were higher under the sun conditions.

The statistic analisis of the averages obtained per treatment revealed that there is meaningfull diference between the leaves grown under the darkness and under the sun light.

INTRODUÇÃO

Muitas pesquisas, especialmente no campo da bioquímica, têm empregado o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) devido à facilidade de cultivo em estufas, ciclo curto e, principalmente, por apresentar reações fisiológicas bem nitidas. Entretanto, verifica-se na literatura científica, um reduzido número de pesquisas sobre a fisiologia ecológica do feijoeiro (FRANCO et alii, 1971).

Sem dúvida, os fatores ambientais exercem influências marcantes sobre as plantas que, quando não perecem, ajustam-se aos diversos ambientes através de modificações estruturais. O ambiente pode modificar a expressão de um genótipo particular, e a grandeza destas mudanças pode ser comprovada pela sua plasticidade, que tanto poderá ser morfológica quanto fisiológica. Segundo BRADSHAW (1965), muitas vezes a plasticidade de um caráter poderá ser uma adaptação bastante significativa. Isto é particularmente verdadeiro para as plantas, uma vez que elas não dispõem de mecanismos complexos para locomoverem-se quando as condições lhes são adversas. Ainda segundo esse autor, a plasticidade é importante para o melhoramento das plantas. Conforme COSTA et alii (1983b), a manutenção de um nível mais estável de produção pode ser facilitada pelo desenvolvimento da plasticidade dos componentes de produção do feijoeiro, se a variação de um componente compensar o outro durante o desenvolvimento da planta.

Quando plantas de feijão são cultivadas em diferentes situações de luminosidade, apresentam comportamento diferente em relação a vários parâmetros do desenvolvimento. Estas diferenças podem ser expressas através de adaptações que se verificam, principalmente, na mudança da morfologia, tanto externa quanto interna, observadas, particularmente, ao nível das folhas. O tamanho e o número de folhas estão mais sujeitos às variações do ambiente, porque apresentam periodo mais longo de atividade meristemática em relação, por exemplo, às estruturas reprodutivas

(STEBBINS, 1950).

Por outro lado, as alterações morfológicas internas, como a forma, tamanho, espaçamento entre as células do mesofilo, espessura dos feixes vasculares, o número de estômatos, tamanho e forma das células epidérmicas oriundas de uma maior ou menor exposição à luz, podem estar diretamente relacionadas à eficiência fotossintética e à translocação de carboidratos na planta. Pelo fato das variações fisiológicas apresentarem maior dificuldade de observação em relação às morfológicas, estes são, portanto, mais evidentes. Mesmo assim, CROOKSTON et alii (1975) observaram que os cloroplastos de folhas de feijoeiro que se desenvolveram sob luz normal apresentaram grandes grãos de amido, enquanto os cloroplastos de folhas desenvolvidas sob baixa luminosidade eram menores, provavelmente devido à presença de poucos e pequenos grãos de amido.

O padrão de resposta de uma planta e seu específico potencial de adaptação são características determinadas geneticamente. Desta forma, as plantas de sol podem adaptar-se à sombra, porém não tão eficientemente quanto as plantas de sol. Também o inverso é verdadeiro. (LARCHER, 1986). Conforme o exposto anteriormente, o feijoeiro embora bastante estudado no campo da bioquímica, no que se refere a ecologia, as pesquisas são ainda reduzidas. Este trabalho visa um estudo voltado diretamente para as modificações que se processam nas folhas do feijoeiro, quando submetidas às variações de luminosidade do ambiente. Do mesmo modo, objetiva fornecer dados que possam subsidiar, posteriormente, estudos mais específicos, como por exemplo, os que envolvem o dispêndio de água pela planta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no mês de janeiro de 1992, na casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia, situada a uma latitude 29°43'248'' e longitude 53°43'203''.

Sementes de *Phaseolus vulgaris* L. foram postas para germinar em 40 potes plásticos contendo solo textura 44, com 20% de argila, pH=7.1, Ind. SMP=7.3, P=80.0 ppm, K=200 ppm, M.O.=7.6%. O fornecimento de água foi equivalente para todos os vasos. As condições de germinação foram as mesmas; todos os potes permaneceram abrigados da luz e sob temperatura ambiente. A germinação ocorreu entre 4 e 5 dias após a semeadura. A partir deste momento, 20 potes foram expostos à luz solar e o mesmo número de vasos mantidos à sombra. As medidas da intensidade de radiação solar ($W.m^2$) foram efetuadas empregando-se um Sensor Piranômetro acoplado a um medidor LI-COR modelo LI-185 B. A intensidade média de radiação solar durante o dia, no interior da casa de vegetação, foi de aproximadamente $620,000 W.m^2$ em situação de sol e

9,078 W.m² em situação de sombra. A intensidade mínima de radiação solar nos dois tratamentos permaneceu em torno de 0,003 W.m², às 7 horas e 30 minutos, enquanto a máxima ocorrida durante o dia atingiu 910,000 W.m² em situação de sol, às 13 horas e 30 minutos e 13,500 W.m², às 15 horas e 30 minutos, em situação de sombra. Quando as primeiras folhas trifolioladas atingiram cerca de 10 dias, foram colhidas para a obtenção de amostras necessárias à confecção de lâminas temporárias e permanentes, objetivando a contagem de estômatos e medidas da espessura do mesofilo e feixes vasculares respectivamente.

Para a determinação da densidade e índice estomático, foram utilizadas amostras obtidas de ambas as epidermes, adaxial e abaxial, localizadas no terço médio entre o ápice e a base do folíolo, e entre a nervura principal e o bordo deste. Foram realizadas 10 contagens (equivalentes a 1 mm²) com 10 repetições em cada uma das epidermes de cada folha, num total de 10 folhas de sol e 10 de sombra. A confecção de lâminas temporárias foi a partir da dissociação dos tecidos subjacentes às epidermes, através do método de raspagem e clarificação pelo emprego de cloroativo 5,2% Pv (água sanitária). A contagem de estômatos e células epidérmicas foi realizada utilizando-se o microscópio de ocular reticulada; a espessura do mesofilo e feixes vasculares, com ocular micrométrica em lâminas permanentes. Foram efetuadas 10 medidas da espessura do mesofilo e 10 da espessura dos feixes vasculares num total de 7 folhas para cada um dos tratamentos. As medidas da espessura do mesofilo tiveram lugar em dois pontos: a₁ - logo após a nervura principal e a₂ - à 555 µm da mesma. Os feixes vasculares foram medidos perpendicular (b₁) e paralelamente ao mesofilo, (b₂).

Para a elaboração de lâminas permanentes seguiu-se a técnica usual de inclusão em parafina (JOHANSEN, 1940), usando-se o processo de dupla coloração safranina - "fast green" (SASS, 1951). As amostras empregadas foram extraídas do terço médio entre o ápice e a base do folíolo central da primeira folha trifoliolada de plantas expostas à luz solar e plantas abrigadas da luz. O índice estomático (IE), em percentual, foi calculado através da fórmula:

$$IE = \frac{\text{número de estômatos}}{\text{número de estômatos} + \text{número de células epidérmicas}} \times 100$$

A área foliar foi calculada, empregando-se a equação de regressão: Y = 0,31 + 0,637 X, (condição de sol + sombra) a partir de dados obtidos em experimento anterior com folhas (folíolo central da primeira folha composta) de feijoeiro, em condição de sol e de sombra.

Para verificar a significância, os valores médios da densidade e índice estomático, da espessura do mesofilo e dos feixes vasculares e da área foliar passaram por um teste estatístico (teste t de Student).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram obtidos a partir do folíolo central da primeira folha de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) sob condições de sol e sob condições de sombra.

Esses resultados são referentes aos seguintes parâmetros estudados: área do folíolo (TAB. 1); densidade estomática média e índice estomático médio (TABs. 2 e 3); espessura média do folíolo e do feixe vascular da nervura principal (TABs. 4 e 5). Os resultados desses cinco parâmetros estão contidos resumidamente na TAB. 6.

TABELA 1 - Área do folíolo central da primeira folha composta sob condição de sol e sob condição de sombra. Diferença entre a área foliar obtida nos dois tratamentos.

Nº da folha	Sombra	Área (cm ²)	
		Sol	Diferença
01	17,98	16,63	+1,35
02	17,70	15,80	+1,90
03	17,20	15,00	+2,20
04	16,78	13,23	+3,55
05	16,71	12,09	+4,62
06	16,21	10,18	+6,03
07	16,10	9,79	+6,31
08	16,00	9,67	+6,33
09	15,63	9,67	+5,96
10	14,80	9,60	+5,20
11	14,80	9,59	+5,21
12	14,58	9,48	+5,10
13	14,45	9,00	+5,45
14	14,17	8,43	+5,74
15	14,00	7,88	+6,12
16	14,00	7,62	+6,38
17	13,91	6,68	+7,23
18	13,87	5,41	+8,46
19	12,71	5,20	+7,51
20	12,44	5,00	+7,44
Média:	15,20	9,79	+5,41

TABELA 2 - Densidade estomática média (mm²) e índice estomático médio (%) das epidermes adaxial (Ead) e abaxial (Eab) de folhas (folíolo central - primeira folha trifoliolada) de feijoeiro sob condições de sol.

Folha	Densidade Est. (mm ²)		Índice Est (%)	
	Ead	Eab	Ead	Eab
01	103,5	281,00	16,72	30,44
02	94,5	283,00	16,55	29,17
03	69,5	293,00	13,83	30,03
04	100,5	202,00	17,34	24,20
05	120,0	300,00	20,61	32,94
06	73,0	285,00	14,45	31,28
07	61,0	210,00	13,43	25,02
08	45,5	253,00	9,66	27,80
09	77,0	251,00	13,48	28,45
10	58,5	249,00	11,39	28,19
Média	80,3	260,75	14,74	28,75

TABELA 3 - Densidade estomática média (mm²) e índice estomático médio (%) das epidermes adaxial (Ead) e abaxial (Eab) de folhas (foliolo central da primeira folha trifoliolada) de feijoeiro sob condições de sombra.

Folha	Densidade Est. (mm ²)		Índice Est (%)	
	Ead	Eab	Ead	Eab
01	14,5	111,5	4,00	22,05
02	23,0	133,5	6,89	27,92
03	24,0	135,0	6,45	24,41
04	23,0	120,0	7,68	25,45
05	27,5	107,5	7,31	24,21
06	19,0	100,5	5,82	23,00
07	32,5	107,0	9,74	23,44
08	36,0	127,5	9,48	25,57
09	32,5	141,0	8,34	26,68
10	26,0	121,5	6,35	24,84
Média:	25,8	120,5	7,20	24,75

TABELA 4 - Espessura média do mesofilo e dos feixes vasculares da nervura principal de folhas (foliolo central da primeira folha trifoliolada) de feijoeiro sob condição de sol.

a₁ - logo após a nervura; a₂ - à 555 µm da nervura; b₁ - perpendicular ao mesofilo; b₂ - paralela ao mesofilo.

Folha	Mesofilo		Feixes Vasculares	
	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂
1	122	101	128	137
2	107	97	180	240
3	176	156	177	217
4	110	94	255	257
5	128	104	197	222
6	113	93	154	191
7	108	94	138	142
Média:	123	105	175	200

TABELA 5 - Espessura média do mesofilo e dos feixes vasculares da nervura principal de folhas (foliolo central da primeira folha trifoliolada) sob condição de sombra.

Folha	Mesofilo		Feixes Vasculares	
	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂
1	48	46	101	121
2	53	51	103	107
3	78	58	117	118
4	55	46	107	127
5	77	59	103	127
6	62	50	104	110
7	61	51	131	138
Média:	62	51	109	121

a₁ - logo após a nervura; a₂ - à 555 µm da nervura; b₁ - perpendicular ao mesofilo; b₂ - paralela ao mesofilo.

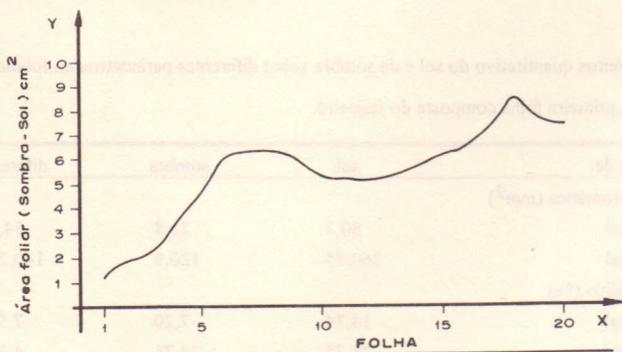
TABELA 6 - Efeitos quantitativo do sol e da sombra sobre diferentes parâmetros no foliolo central da primeira folha composta do feijoeiro.

Valores médios de:	sol	sombra	diferença
* Densidade Estomática (mm ²)			
Epiderme adaxial	80,3	25,8	54,5
Epiderme abaxial	260,75	120,5	140,25
* Índice estomático (%)			
Epiderme adaxial	14,74	7,20	7,54
Epiderme abaxial	28,75	24,75	4,00
* Espessura do mesofilo (µm)	123-105	62-51	61-54
* Espessura dos feixes vasculares (µm)	175-200	109-121	66-79
m)			
* Área foliar (cm ²)	9,79	15,20	-5,41

Analisando-se a tabela 6, verifica-se que no feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris L.*), sob condição de sol, a área média da superfície dos folíolos centrais das primeiras folhas trifolioladas atingiu $9,79 \text{ cm}^2$. Pouco menos de um terço dos folíolos apresentaram uma área de 9 cm^2 , os demais ficaram com valores que variaram entre 5 e 16 cm^2 .

Sob condição de sombra, a área dos folíolos atingiu valor superior ao apresentado pelos folíolos de folhas sob condição de sol. A diferença entre estes valores foi pouco mais da metade de valor da área média das folhas ao sol. Sob condição de sombra, a área da superfície foliar, em pelo menos um terço das folhas, permaneceu em torno de 14 cm^2 , outro terço ficou com uma área cujo valor variou entre 16 e 17 cm^2 e, o restante, entre 12 e 13 cm^2 . Observa-se, neste tratamento, uma variação entre os valores extremos de, aproximadamente, 5 cm^2 (TAB 1). De acordo com VERBELEN & DE GREEF (1979), em folhas primárias de feijoeiro sob luz (branca) continua, a expansão celular ocorre aproximadamente do 6º ao 7º dia. Embora todos os folíolos estudados no presente trabalho tivessem 10 dias, a contar da sua emergência, houve uma grande amplitude de variação da área foliar entre um e outro folíolo, dentro de um mesmo tratamento, principalmente naqueles expostos ao sol. Há, aqui, que considerar, além da expansão celular, os fatores genéticos e estado físico da semente. As diferenças entre a área das superfícies foliares, em ambos os tratamentos, foram em algumas folhas, de cerca de 1 cm^2 , enquanto em outras, obteve-se um diferença mais acentuada, cerca de 8 cm^2 . O gráfico da FIG. 1 elucida mais claramente a variação da área foliar das

FIG. 1 - Diferença entre a área foliar sob condições de sol e de sombra dos folíolos centrais das primeiras folhas compostas do feijoeiro.



primeira folhas trifolioladas entre as duas situações, de sol e de sombra, onde mais da metade delas ficaram com uma diferença entre 5 e 7 cm^2 . Os resultados aqui apresentados estão de acordo com KNECHT & O'LEARY (1972), que constataram um aumento da área foliar com a diminuição da

intensidade luminosa. CUTTER (1987) menciona que tanto a luz quanto a temperatura podem afetar a divisão e a expansão celular, e os altos níveis de radiação podem levar a uma diminuição na área das folhas. Entretanto, os dados aqui obtidos, contrariam os apresentados por CROOKSTON et alii (1975). Para folíolos de plantas desenvolvidas sob sombreamento, o referido aumento obteve resultados, cujos valores chegaram a ser, aproximadamente, a metade daqueles encontrados em folhas sob luminosidade normal. MAGALHÃES & MONTOJOS (1971) demonstraram em seu trabalho com feijoeiro, que sob um regime de baixa luminosidade há um decréscimo na área foliar. Segundo WHATLEY (1982), as maiores variações no tamanho da folha são devidas a diferenças na intensidade da luz, embora uma resposta precisa vá depender da espécie. O autor menciona ainda, que folhas mantidas em sobreamento mais profundo são pequenas e apresentam um lento amadurecimento. Diante do que foi exposto, devem ser consideradas as condições experimentais e cultivares empregadas em cada caso.

Já tem sido demonstrado que existe diferença na densidade estomática de folhas de mesma espécie, dependendo do ambiente no qual são desenvolvidas (ECKERSON 1908; REA 1921; PENFOUND 1931). Considerando os folíolos centrais das primeiras folhas trifolioladas de feijoeiro desenvolvidas sob condição de sol, a epiderme adaxial apresentou uma variação considerável na densidade estomática de uma folha para outra. Os maiores valores encontrados permanecem entre 94,5 e 120,0 estômatos/mm², e as demais folhas tiveram valores menores entre 45,5 e 77,0 estômatos/mm² (TAB. 3). Os valores da epiderme abaxial, neste tratamento, foram superiores. Em apenas duas folhas verificou-se densidade igual ou inferior à 210,0 estômatos/mm²; a maioria atingiu cerca de 251,0 a 300,0 estômatos/mm². Sob condição de sol, a densidade estomática é mais elevada na epiderme abaxial, conforme se constata pelas médias obtidas nas duas epidermes (TAB. 2 e FIGs. 2a e 3a).

Na epiderme adaxial dos folíolos centrais das primeiras folhas trifolioladas de plantas de feijoeiro, desenvolvidas sob baixo nível de luminosidade, apenas duas plantas tiveram densidade estomática abaixo de 23,0 estômatos/mm². Pelo menos a metade das plantas tiveram entre 23,0 e 27,5 estômatos/mm² nesta epiderme, enquanto a maioria restante ficou entre 32,5 e 36,0 estômatos/mm² (TAB. 3). Na epiderme abaxial, a densidade estomática por mm² foi superior, sendo que todas as plantas tiveram número acima de 100,0 e 141,0 estômatos/mm², enquanto o restante permaneceu entre 100,5 e 111,5 estômatos/mm² (TAB. 3). Neste tratamento, pela média aproximada existente entre a epiderme adaxial (25,8 estômatos/mm²) e a epiderme abaxial (120,5 estômatos/mm²), é evidente a maior densidade estômatos/mm² na epiderme abaxial (FIGs. 2b e 3b). De acordo com o exposto anteriormente, verificou-se que a densidade média existente na epiderme adaxial e abaxial das folhas de sol é, sem dúvida, superior à existente em folhas de sombra

(FIGs. 2a e 2b; 3a e 3b). A variação na densidade estomática por mm^2 na epiderme adaxial foi menor em situação de sombra, quando comparada com a ocorrida em situação de sol. A FIG. 2 mostra que a densidade máxima de estômatos obtida sob baixo nível de luminosidade não atinge a mínima ocorrida sob condição de sol. Comportamento similar teve a epiderme abaxial porém com amplitude bem maior. A variação na densidade estomática da epiderme abaxial das folhas de plantas de feijoeiro desenvolvidas na sombra foi menos acentuada que a mesma epiderme em folhas desenvolvidas sob o sol. Houve uma considerável diferença entre o valor máximo atingido pelas folhas abrigadas da luz e o valor mínimo obtido pelas folhas expostas à luz solar (FIGs. 2 e 3). Comparando-se a variação da densidade estomática entre as folhas de plantas de sombra, constata-se que tanto a epiderme superior como a inferior mantiveram uma variação menor, embora a epiderme inferior tenha valores extremos mais distantes. O mesmo ocorreu entre as folhas de sol (FIGs. 2 e 3). Os resultados aqui apresentados estão em concordância com aqueles encontrados nos trabalhos, com feijoeiro, de KNECHT & O'LEARY (1972) e de CROOKSTON et alii (1975).

GUPTA (1961) relatou ser a densidade estomática inversamente proporcional à área da lâmina foliar e concluiu ser constante o número absoluto de estômatos em folhas de um mesmo ramo. Relatou também que, quando plantas da mesma espécie foram desenvolvidas em diferentes ambientes, a mesma correlação foi de novo observada. Segundo PASOUREK (1969), a frequência estomática em *Hordeum distichon* decresce à medida que a inserção das folhas ocorre em posições mais altas. De acordo com ESAU (1976), os estômatos numa folha não se diferenciam todos de uma vez, mas a diferenciação persiste durante considerável parte da expansão ulterior da folha. Isto explicaria, a razão de haver um decréscimo na densidade estomática das folhas inseridas na extremidade dos ramos. Para KNECHT & O'LEARY, os trabalhos de PASOUREK e de ESAU demonstram a importância da utilização de folhas com a mesma maturidade fisiológica nos estudos comparativos de número estomático. A compreensão de que o número de estômatos por unidade de área varia em plantas de mesma espécie, em função de diferentes ambientes, é de considerável importância. Em seus estudos, os referidos autores mencionam que havendo clareza no entendimento de que o ambiente atua sobre os estômatos, viria também em auxílio da compreensão das diferentes taxas de dispêndio de água em plantas desenvolvidas sob diferentes condições ambientais.

FIG. 2 - Relação entre a densidade estomática na situação de sol e de sombra da epiderme adaxial do folíolo central da primeira folha composta de feijoeiro.

FIG. 2a - Vista frontal da epiderme adaxial

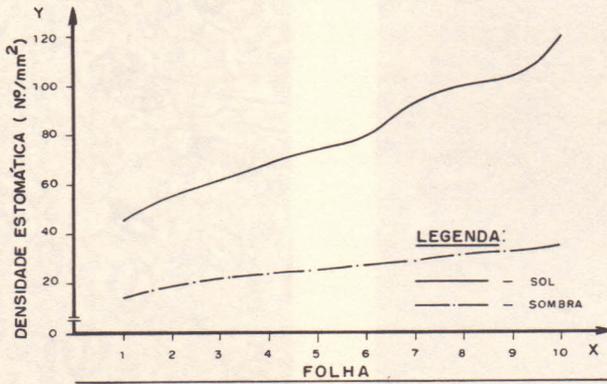


FIG. 3 - Relação entre a densidade estomática na situação de sol e de sombra da epiderme abaxial do folíolo central da primeira folha composta de feijoeiro.

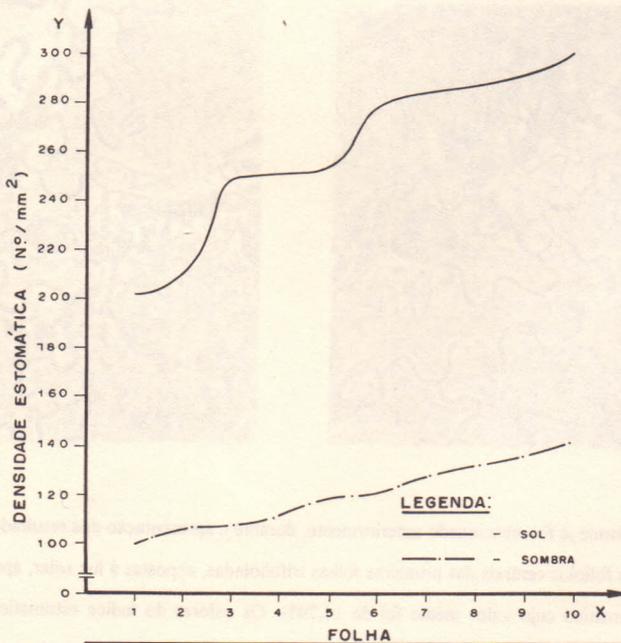


FIG. 3a - Vista frontal da epiderme abaxial
(condição de sol)



FIG. 2b - Vista frontal da epiderme
adaxial (condição de sombra)

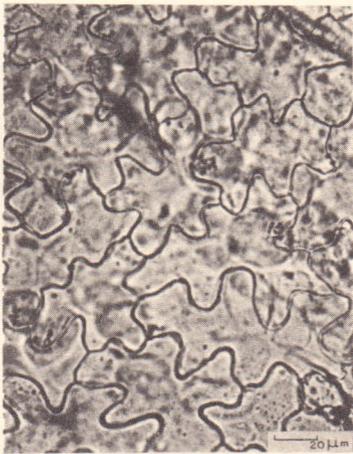


FIG. 3b - Vista frontal da epiderme abaxial
(condição de sombra)



Conforme já foi mencionado anteriormente, durante a apresentação dos resultados, a epiderme adaxial dos folíolos centrais das primeiras folhas trifolioladas, expostas à luz solar, apresentaram um índice estomático cujo valor médio foi de 14,74%. Os valores do índice estomático encontrados nesta epiderme variaram de uma folha para outra, com uma diferença máxima de aproximadamente

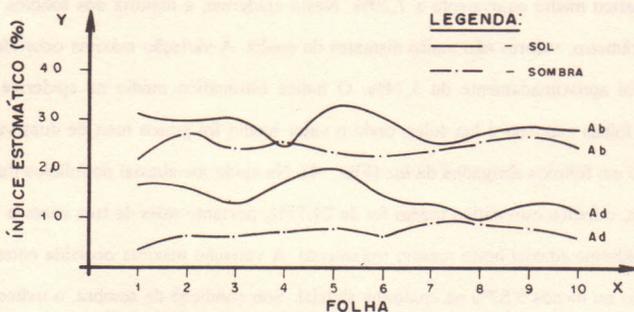
10,95%, enquanto a diferença mínima ocorrida permaneceu em torno de 0,05%. O índice estomático médio na epiderme abaxial atingiu 28,75%. Nesta epiderme, a variação do índice estomático entre um e outro folíolo, foi menos ecentuada que na epiderme adaxial; a variação do índice estomático ocorrida entre os folíolos, na epiderme abaxial foi de 8%, enquanto a mínima ficou em 0,26%.

A epiderme adaxial dos folíolos centrais de feijoeiro, sob condição de sombra, apresentou um índice estomático médio equivalente a 7,20%. Nesta epiderme, a maioria dos folíolos apresentou, para este parâmetro, valores não muito distantes da média. A variação máxima ocorrida do índice estomático foi aproximadamente de 5,74%. O índice estomático médio na epiderme adaxial foi superior em folhas expostas à luz solar, onde o valor médio foi pouco mais de duas vezes o valor médio obtido em folíolos abrigados da luz (FIG. 4). Na epiderme abaxial de folíolos desenvolvidos sob a sombra, o índice estomático médio foi de 24,75%, portanto mais de três vezes o valor médio obtido na epiderme adaxial neste mesmo tratamento. A variação máxima ocorrida entre os folíolos ficou em mais ou menos 5,87% na epiderme abaxial. Sob condição de sombra, o índice estomático em ambas as epidermes mostraram variações mínimas entre os folíolos (FIG. 4). Por outro lado, quando se compara os valores médios deste parâmetro obtidos em em cada um dos tratamentos, constata-se que são mais elevados em situação de sol, conforme mostra a FIG. 4. Também a variação entre uma e outra folha foi maior em situação de sol. A variação do índice estomático foi tão expressiva que na folha 4 (FIG. 4), por exemplo, o índice estomático na epiderme abaxial sob condição de sol, foi inferior ao apresentado por esta epiderme sob condição de sombra. Situação similar se pode observar entre as epidermes adaxiais, onde o índice estomático na folha 8 (FIG. 4) de sombra atingiu valor muito próximo ao verificado na exposta ao sol.

Foram também efetuadas contagens das células epidérmicas nas duas epidermes das folhas submetidas à condição de sol e de sombra. Há que considerar, aqui, a dificuldade na realização das contagens devido a grande quantidade de tricomas, principalmente nas folhas expostas ao sol. CUTTER (1987) descreve as folhas de sol como sendo geralmente mais espessas, mais diferenciadas e possuindo mais pêlos que as folhas de sombra de uma mesma espécie. Observou-se também que as células epidérmicas de folhas abrigadas da luz são maiores e apresentam um contorno com uma ondulação mais acentuada em relação àquelas de folhas desenvolvidas sob luz. Além disso, também foi verificado, um número mais elevado de células por mm^2 tanto na epiderme superior como na inferior das folhas expostas ao sol (FIGs. 2a e 3a; 2b e 3b). Esta observação está em concordância com o que VERBELEN & DE GREEF (1979) constataram em folhas primárias de feijoeiro. Eles verificaram que, em geral, o desenvolvimento de folhas expostas à luz têm um maior número de células epidérmicas em relação àquelas desenvolvidas no escuro e que o mais notável

efeito qualitativo da luz é a indução de intensa divisão celular.

FIG. 4 - Relação entre índice estomático de sol e de sombra apresentado pelas epidermes dos folíolos centrais das primeira folhas compostas de feijoeiro (Ad-epiderme adaxial; Ab-epiderme abaxial).



A espessura do mesofilo é bastante uniforme em toda a sua extensão, exceto junto à nervura principal onde, obviamente, é maior. Por isso, foram feitas duas medidas de espessura do mesofilo: uma próxima à nervura central (a_1) e outra à 555 μm da nervura central (a_2). Conforme já foi mencionado anteriormente, a espessura média do mesofilo no ponto a_1 , do folíolo central da primeira folha composta de feijoeiro, sob condição de sol, foi de aproximadamente 123 μm . A maioria dos folíolos mantiveram uma espessura cuja diferença máxima entre eles não ultrapassou 21 μm . Comparando-se a espessura média do mesofilo com a espessura individual da maioria das folhas, constata-se que houve um comportamento mais ou menos similar quanto ao valor da espessura em a_1 . Contudo uma das folhas extrapolou a média atingindo 176 μm , conforme se pode observar na FIG. 5. Neste mesmo tratamento, a espessura média do mesofilo no ponto a_2 foi de cerca de 105 μm . Na maioria dos folíolos esta espessura mostrou uma variação pouco expressiva entre um folíolo e outro. A diferença máxima ocorrida entre a maior e a menor espessura não excedeu à 11 μm neste ponto. Entretanto, uma das folhas exibiu uma espessura cujo valor foi pelo menos um terço superior à espessura média em a_2 (TAB. 4).

Sob condição de sombra, a espessura média do mesofilo no ponto a_1 foi de 62 μm . A espessura do mesofilo, neste ponto, mostra um valor mínimo de 48 μm e um máximo de 78 μm . Estes, comparados com a espessura média, mostram que a variação ocorrida entre os valores extremos de espessura em a_1 é pouco acentuada em folhas abrigadas da luz. O valor médio da espessura do mesofilo à 555 μm da nervura principal neste tratamento ficou em torno de 51 μm . A

maioria dos folíolos exibiram uma espessura entre 46 e 59 μm . Verifica-se aqui, comparando os valores extremos com a média obtida, que a maioria dos folíolos comportou-se dentro de um mesmo padrão, ou seja, a amplitude de variação entre a espessura média e os valores extremos, mínima e máxima espessura, ficou em 5 e 8 μm respectivamente (TAB. 5). A maior espessura a_1 , ocorrida em folhas de sombra ficou muito aquém da menor espessura do mesófilo neste ponto verificada em folhas desenvolvidas sob a luz solar (FIG. 5). A espessura média do mesófilo localizada imediatamente após a nervura principal em folíolos do feijoeiro desenvolvidas ao sol é pelo menos quase duas vezes a espessura do mesófilo na mesma região, em folhas desenvolvidas sob baixo nível de luminosidade (TABs. 4 e 5). Constata-se também, que o valor a_2 , mínimo em situação de sol ainda é superior ao valor máximo a_1 , em situação de sombra (FIG. 5). A espessura média do mesófilo à 555 μm da nervura central em situação de sol é pouco mais que o dobro da espessura média neste mesmo ponto em situação de baixa luminosidade. VERBELEN & DE GREEF (1979) observaram que no desenvolvimento de plantas de feijoeiro, sob condição de sombra, a fase de expansão celular é deficiente no parênquima paliçádico. Ainda segundo estes autores, o mesófilo de folhas primárias de feijoeiro desenvolvidas sob luz branca continua apresentaram células paliçádicas com maior área, maior volume e maior altura, bem como aproximadamente o dobro do número de células paliçádicas por folha em relação àquelas desenvolvidas no escuro. A espessura das folhas de feijoeiro, estudadas por CROOKSTON et alii (1975) mostraram um decréscimo com uma diminuição de luminosidade. CUTTER (1987) observou que, em folhas de diferentes regiões de uma mesma árvore, a estrutura foliar apresentava-se bastante modificada, sendo que nas regiões mais sombreadas, o volume médio das células paliçádicas e esponjosas eram respectivamente cerca de 60 e 40% menor. A estrutura interna das folhas desenvolvidas sob luz solar difere muito da existente em folhas abrigadas da luz; nas folhas de sombra, o tecido paliçádico é pouco desenvolvido, ocorrendo grandes espaços intercelulares (WHATLEY & WHATLEY, 1982). Nas folhas de sol, o tecido paliçádico apresenta-se bem desenvolvido e de forma colunar, estando o tecido esponjoso frouxamente arranjado (CUTTER, 1987). Neste trabalho, observou-se que em folíolos centrais das primeiras folhas compostas de feijoeiro, as células paliçádicas do mesófilo de folhas submetidas ao sombreamento ocorrem em menor número, apresentaram menor altura, maior volume de espaços intercelulares e formas diferentes daquelas desenvolvidas sob condição de sol (FIGs. 5a e 5b).

FIG. 5 - Relação entre a espessura do mesófilo em situação de sol e de sombra do folíolo central da primeira folha composta do feijoeiro. a_1 - após a nervura central; a_2 - à 555 μm da nervura central.

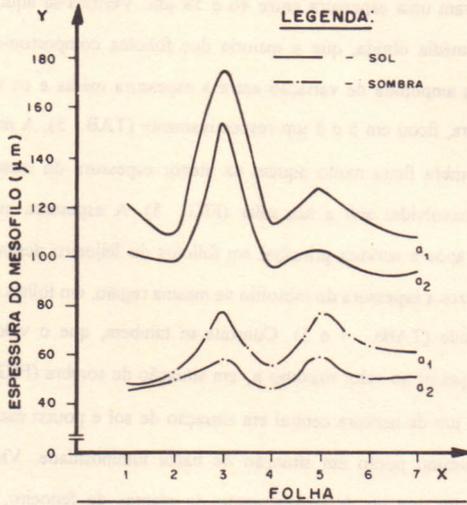
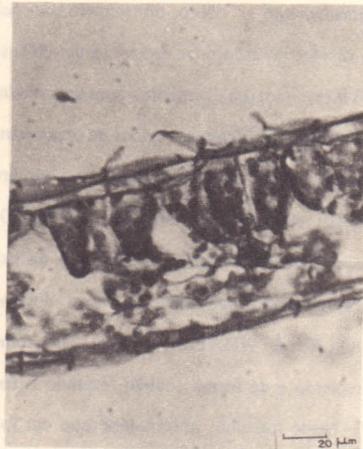


FIG. 5a - Corte transversal do mesofilo
(condição de sol)

FIG. 5b - Corte transversal do mesofilo
(condição de sombra)



Os feixes vasculares da nervura principal do folíolo central das primeiras folhas de feijoeiro, crescidas sob a luz solar, apresentaram uma espessura média perpendicularmente ao mesofilo (b₁) igual a 175 µm. Esta espessura dos feixes vasculares, na maioria dos folíolos, permaneceu em torno de 128 µm e 197 µm. Estes valores extremos, comparados com a espessura média, mostram uma variação expressiva entre alguns folíolos. Há que considerar ainda a espessura ocorrida em um dos folíolos, cujo valor ultrapassou em quase um terço a espessura média. Neste mesmo tratamento, os

resultados obtidos para a espessura dos feixes vasculares medidos paralelamente ao mesofilo (b_2), mostraram uma espessura média equivalente à 200 μm . Em pouco menos da metade dos folíolos, os valores da espessura em b_2 ficaram bastante próximos à média, enquanto a maioria apresentou valores bem acima. Observa-se nesta espessura (b_1) uma variação máxima entre os folíolos de 120 μm , valor este que corresponde à metade do valor encontrado para a espessura média (TAB. 4).

Sob condição de sombra, a espessura média em b_1 dos feixes vasculares da nervura central permaneceu em torno de 109 μm . O valor da espessura encontrado na maioria dos folíolos ficou bastante próximo ao valor médio, exceto em um deles, cuja espessura comparada à média apresentou uma diferença equivalente à 22 μm (TAB. 5). Mesmo assim, a variação de espessura dos feixes vasculares ocorrida entre os folíolos centrais das primeiras folhas trifolioladas desenvolvidas sob a sombra, foi menos expressiva do que a ocorrida em folhas expostas à luz solar (FIG. 6). A espessura média em b_2 dos feixes vasculares de folhas abrigadas da luz foi de 121 μm . Mais da metade dos folíolos apresentaram espessura, cujos valores foram bastante próximos à média, mesmo os valores de espessura das demais folhas não apresentaram grandes diferenças em relação à média (TAB. 5). Observa-se aqui também que a variação máxima de espessura ocorrida em folhas abrigadas da luz, é menor daquela ocorrida em folhas desenvolvidas sob o sol (FIG. 6). Além disso, comparando-se os resultados obtidos nos dois tratamentos, verifica-se que a espessura dos feixes vasculares perpendicularmente ao mesofilo, é maior em folhas expostas à luz solar. A diferença de espessura entre os dois tratamentos é cerca de 66 μm , ou seja, os feixes vasculares sob condição de sol são pelo menos um terço mais espessos que os feixes vasculares sob condição de sombra. A espessura medida paralelamente ao mesofilo também foi superior em folhas expostas ao sol. A diferença entre as espessuras médias nos dois tratamentos foi bastante significativa, cerca de 79 μm (TABs. 4 e 5). A maior espessura, tanto do mesofilo como dos feixes vasculares de folhas desenvolvidas em situação de sol, é compreensível, pois segundo VERBELEN & DE GREEF (1979) trabalhando com folhas primárias de feijoeiro, verificaram que o desenvolvimento de folhas expostas à luz têm um alto número de células em relação àquelas desenvolvidas no escuro. Entre folíolos centrais das primeiras folhas trifolioladas de feijoeiro, observou-se que existe uma considerável variação, tanto no tamanho como na configuração dos feixes vasculares da nervura central, desenvolvidos sob o mesmo nível de luminosidade. Também constatou-se que esta variação é mais acentuada nas folhas desenvolvidas sob a luz solar. Além disso, verificou-se que os feixes vasculares em folhas expostas à luz solar possuem uma maior diferenciação entre as células tornando mais facilmente reconhecível seus limites, favorecendo assim a execução das medidas (FIG. 6a). Nas folhas abrigadas da luz, as células dos feixes são menores e menos diferenciadas, além de se apresentarem de uma forma mais ou menos desordenada, dificultando a visualização dos

limites dos feixes durante a execução das medidas (FIG. 6b). Em situação de sol os feixes vasculares, além de serem mais abundantes, encontram-se mais próximos uns dos outros. O menor espaçamento entre as nervuras é justificado pelo fato de apresentarem essas folhas, menor área foliar. Nas folhas de sombra o espaçamento entre as nervuras é maior, o que favoreceu a dissociação epidérmica. Este comportamento, em relação aos feixes vasculares, não é específico de folhas de feijoeiro, mas pode ocorrer em plantas de outras espécies, quando desenvolvidas em diferentes condições de luminosidade. CUTTER (1987) menciona que plantas de *Impatiens* que se desenvolveram sob percentagens conhecidas de luz natural, apresentaram com a diminuição da intensidade luminosa folhas progressivamente maiores e nervuras mais largamente espaçadas. Para WHATLEY & WHATLEY (1982), a luz pode exercer influência sobre a área de vascularização produzindo folhas longas e estreitas.

Considerando-se os cinco parâmetros estudados em folíolos centrais das primeira folhas compostas de feijoeiro, é evidente o efeito quantitativo tanto do sol quanto da sombra. Os valores médios obtidos em cada parâmetro são bastante significativos, porém a maior diferença entre folhas em situação de sol e de sombra ocorreu entre as médias correspondentes à densidade estomática ($54,5$ estômatos/ mm^2) na epiderme adaxial das folhas de plantas sob condição de sol. Por outro lado, o parâmetro que apresentou menor diferença foi o índice estomático da epiderme abaxial ($4,00\%$). Também foi expressiva a diferença ocorrida entre uma das medidas dos feixes vasculares ($66 \mu\text{m}$). Os demais aspectos estudados mantiveram aproximadamente a mesma proporção de variação. Entretanto, as médias são sempre mais elevadas nas folhas sob condição de sol, exceto o valor médio encontrado para a área foliar, o qual foi mais elevado em folhas sob condição de sombra (TAB. 6).

Através da tabela elaborada por ALARCHER (1986), com dados extraídos de vários autores, pode-se constatar que o efeito do sol e da sombra atua sobre os mesmos parâmetros em diferentes espécies. Comparando-se a referida tabela com os resultados aqui obtidos, observa-se que os mesmos são coincidentes.

FIG. 6 - Relação entre a espessura dos feixes vasculares, em situação de sol e de sombra, da nervura principal do folíolo central da primeira folha composta do feijoeiro. b_1 - perpendicular ao mesófilo; b_2 - paralela ao mesófilo.

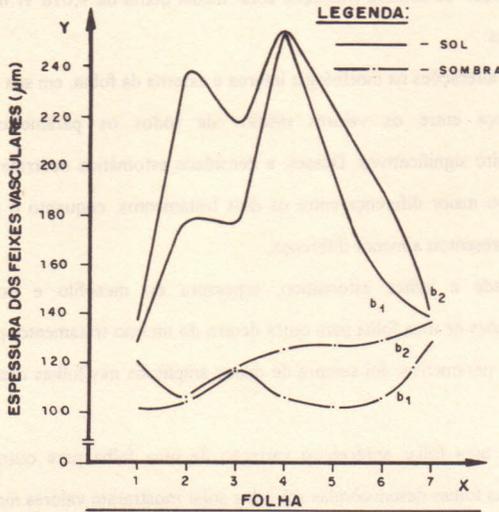


FIG. 6a - Corte transversal dos feixes vasculares da nervura principal (condição de sol)

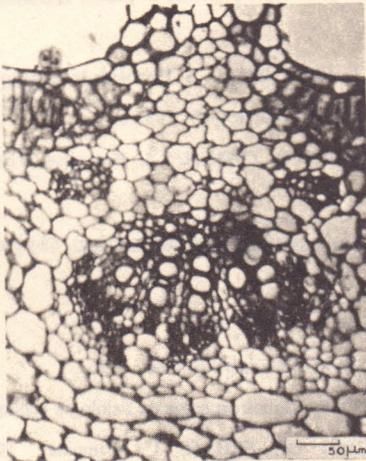
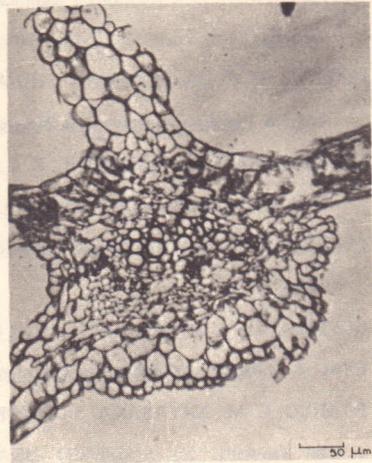


FIG. 6b - Corte transversal dos feixes vasculares da nervura principal (condição de sombra)



CONCLUSÕES

Da comparação entre os dados obtidos dos experimentos realizados com folíolos centrais das primeiras folhas trifolioladas de feijoeiro, sob condição de sol (radiação solar média diária de 620,000

W.m²) e sob condição de sombra (radiação solar média diária de 9,078 W.m²), pode-se tirar as seguintes conclusões:

- ocorreram alterações na morfologia interna e externa da folha, em sua adaptação à sombra,
- a diferença entre os valores médios de todos os parâmetros estudados foram estatisticamente muito significativos. Desses, a densidade estomática ocorrida na epiderme adaxial foi a que apresentou maior diferença entre os dois tratamentos, enquanto o índice estomático da epiderme abaxial apresentou a menor diferença;
- a densidade e índice estomático, espessura do mesofilo e dos feixes vasculares apresentaram variações de uma folha para outra dentro do mesmo tratamento, porém a variação, em qualquer um destes parâmetros, foi sempre de maior amplitude nas folhas desenvolvidas sob a luz solar;
- também a área foliar apresentou variação de uma folha para outra dentro do mesmo tratamento, porém as folhas desenvolvidas sob a luz solar mostraram valores mais baixos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BRADSHAW, A. D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants, Advances in Genetics. New York, 13:115-55, 1965.
02. COSTA, J. G. C. DA; KOHASHI - SHIBATA, J.; MIRANDA, C. S. Plasticidade no feijoeiro comum. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 18(2):159-67, 1983 b.
03. CROOKSTON, R. K.; TREHARNE, K. J.; LUDFORD, P.; OZBUN, J. L. Response of beans to shading. Crop Science. Madison, 15:412-6, 1975.
04. CUTTER, E. G. Anatomia Vegetal Parte II: Órgãos Experimentos e Interpretação. São Paulo, Roca, 1987.
05. ECKERSON, S. H. In: KNECHT, G. N. & O'LEARY, 1972, p. 132.
06. ESAU, K. Anatomia das Plantas com Sementes. São Paulo, Edgard Blücher, 1976.
07. FRANCO, C. M.; MIYASAKA, S.; INFORZATO, R. Alguns aspectos da fisiologia ecológica do feijoeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1.. Campinas, 1971. Anais. Viçosa, 1972. p. 109-18.
08. GUPTA, B. In: KNECHT, G. N. & O'LEARY, 1972, p. 132.
09. JOHANSEN, D. A. Plant Microtechnique. New York, McGraw-Hill Book, 1940.
10. KNECHT, G. N. & O'LEARY, J. W. The effect of light intensity on stomate number and density of *Phaseolus vulgaris* L. leaves. Botanical Gazette. Chicago, 133:132-4, 1972.

-
11. LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Paulo, E. P. U., 1986.
 12. MAGALHÃES, A. C. & MONTOJOS, J. C. Effect of solar radiation on the growth parameters and yield of two varieties of common beans (Phaseolus vulgaris L.). Turrialba, 21:165-8, 1971.
 13. PAZOUREK, J. In: KNECHT, G. N. & O'LEARY, 1972, p. 132.
 14. PENFOUND, W. T. In: KNECHT, G. N. & O'LEARY, 1972, p. 132.
 15. REA, M. In: KNECHT, G. N. & O'LEARY, 1972, p. 132.
 16. SASS, I. E. Botanical microtechnique. 2 ed. Iowa. The Iowa State College. 1951.
 17. STEBBINS, G. L. In: COSTA, J. G. C. DA; KOHACHI-SHIBATA, J. MIRANDA, C. S., 1983, p. 159.
 18. VERBELEN, J. P. & DE GREEF, J. A. Leaf development of *Phaseolus vulgaris L.* in light and darkness. American journal of botany. Lawrence, 66(8):970-976, 1979.
 19. WHATLEY, J. M. & WHATLEY, F. R. A luz e a vida das plantas. E. P. U., 1982.

