



HELIOtropISMO EM FEIJÃO-DA-PRAIA *SOPHORA TOMENTOSA* (LEGUMINOSAE)

Mariana Esther Lapate

INTRODUÇÃO

A luz pode ser um recurso limitante para as plantas em função de suas necessidades fisiológicas e do ambiente no qual elas são encontradas (Lüttge 1997). Baixas incidências de luz podem fazer com que a taxa fotossintética fique abaixo da taxa respiratória, resultando num déficit energético para o indivíduo. Ao contrário, se a intensidade luminosa for muito alta, como no dossel de florestas tropicais e ambientes de fisionomia aberta, o acúmulo de energia no sistema fotossintético pode causar fotoinibição, o que diminui a taxa de fixação de carbono (Larcher 1984). Além disso, o balanço hídrico também é alterado, uma vez que o aumento da temperatura das folhas devido à absorção da energia solar é controlado pela evaporação da água (Harper 1990).

Plantas sujeitas a alta radiação solar geralmente apresentam adaptações morfológicas que diminuem os efeitos negativos da alta luminosidade, como maior pilosidade e espessura das folhas e menor área foliar exposta em comparação com indivíduos da mesma espécie encontrados em ambientes sombreados (Briggs & Walters 1997). Além disso, a orientação das folhas pode reduzir a radiação que incide diretamente na superfície foliar, diminuindo seu aquecimento e os danos causados pelo excesso de radiação (Begon *et al.* 2006).

Dependendo da espécie e do ambiente no qual ela se encontra, as folhas podem se orientar de forma a maximizar ou minimizar a incidência de raios solares na superfície fotossintética. No caso de plantas sob condições de alta luminosidade, as folhas geralmente alteram sua orientação de forma a manter constante ou diminuir a incidência de raios nos momentos de maior intensidade de luz (Russel *et al.* 1989).

Em um ambiente de restinga arbustiva, onde há incidência direta de luz em todos os estratos vegetais, foi encontrada uma alta frequência de ocorrência de copas cônicas, que são compostas por folhas com grande inclinação em relação ao solo (Mariscal *et al.* 2008), o que provavelmente favorece a permanência dessas espécies nesse ambiente de

alto estresse luminoso e hídrico. *Sophora tomentosa* (Leguminosae) foi uma das espécies que apresentou copa cônica. Seus folíolos são glabros na face adaxial (Couto 2005) e aparentemente não apresentam outras características morfológicas típicas de plantas de ambientes com alta incidência luminosa. Se os seus folíolos apresentarem alteração na sua orientação ao longo do dia, isso poderia diminuir ainda mais o seu estresse luminoso, e possivelmente hídrico, juntamente com a arquitetura de copa.

Dessa forma, minha hipótese é que essa espécie altera a orientação de seus folíolos em função da direção dos raios solares, de forma a manter constante e baixa a intensidade de luz que incide sobre a superfície foliar, pelo menos nos horários mais quentes do dia. Espero, então, que o ângulo de incidência dos raios solares sobre as superfícies foliares de *S. tomentosa* apresente um valor constante ao longo do dia, e que os folíolos se orientem paralelamente à direção desses raios.

MATERIAIS & MÉTODOS

Realizei o estudo em uma restinga arbustiva do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, próximo ao Núcleo Perequê. A fisionomia encontrada nesse local é caracterizada pela predominância do estrato herbáceo, com poucos indivíduos lenhosos com 1 a 3 m de altura (Souza & Capellari 2004).

A espécie *Sophora tomentosa* (Leguminosae), popularmente conhecida como feijão-da-praia, é tipicamente encontrada em ambientes de restinga arbustiva. Essa espécie não apresenta copa globosa, e seus ramos partem do chão, de forma que as extremidades dos ramos são isoladas e raramente as folhas sombreiam umas às outras em indivíduos de até 2 m de altura.

Amostrei 20 indivíduos de *S. tomentosa* no local. Escolhi apenas indivíduos que estavam sujeitos à incidência direta de luz em todos os momentos do dia. Marquei os 10 ramos mais expostos à luz de cada indivíduo e cujas folhas não apresentassem sinais de herbivoria. Dois indivíduos amostrados eram de pequeno porte, e possuíam apenas cinco

ramos, de forma que apenas cinco folíolos desses indivíduos foram utilizados. De cada ramo, marquei a quarta folha mais apical, evitando utilizar folhas muito novas, que poderiam responder de forma diferente à incidência luminosa em relação às folhas mais desenvolvidas.

Ao longo de um dia, cada indivíduo foi amostrado de manhã (entre 8 h e 11 h) e à tarde (entre 14 h e 17:30 h). Nos dois períodos, medi o menor ângulo formado entre o horizonte e a superfície do terceiro folíolo do lado esquerdo da raque das folhas marcadas (F), assim como a posição azimutal da direção para a qual estava voltada a face mais exposta do folíolo (\tilde{F}) (Figura 1). Como o ângulo de inclinação medido foi o menor em relação ao horizonte, esse valor variou entre 0° (paralelo ao horizonte) e 90° (perpendicular ao horizonte). Determinei também o azimute do Sol (\tilde{S}) e o ângulo dos raios solares em relação ao horizonte (\tilde{S}) no momento da amostragem de cada indivíduo de *S. tomentosa* (Figura 1). Os azimutes representam uma posição angular relativa ao Norte, em sentido horário, variando de 0° a 359° (Zar 1996). As posições azimutais das folhas foram aproximadas para as oito direções principais (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°). Medi os ângulos utilizando um clinômetro, e os azimutes, com uma bússola. No total, foram amostrados 190 folíolos.

Para cada folíolo, estimei o cosseno do ângulo de incidência (i) dos raios solares, definido como o ângulo entre a direção dos raios e a reta perpendicular à superfície foliar (Figura 1) (Gates 1962), calculado segundo a relação:

$$\cos(i) = \cos(\tilde{F}) \cdot \sin(\tilde{S}) + \sin(\tilde{F}) \cdot \cos(\tilde{S}) \cdot \cos(\tilde{S} - \tilde{F}).$$

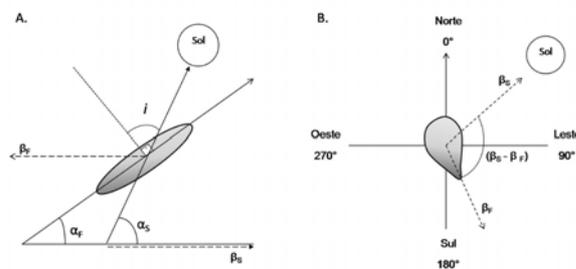


Figura 1. (A) Ângulos medidos e estimados do Sol e de cada folíolo de *Sophora tomentosa*. (B) A diferença dos azimutes do Sol e do folíolo é o ângulo igual ou menor que 180° formado entre as direções de suas posições. \tilde{F} = ângulo de inclinação da superfície foliar; \tilde{S} = ângulo de inclinação dos raios solares; \tilde{F} = posição azimutal da face mais exposta do folíolo; \tilde{S} = posição azimutal

do Sol; i = ângulo de incidência dos raios solares.

Quanto maior o ângulo de incidência, que varia de 0° a 90°, menor o valor de seu cosseno, e menor é a incidência de radiação total no limbo da folha. Em folhas que não alteram a sua orientação, o valor de $\cos(i)$ varia ao longo do dia. Se as folhas apresentam heliotropismo, evitando que a luz incida perpendicularmente à superfície fotossintética, o $\cos(i)$ é constante e próximo a zero (Russel *et al.* 1989).

Testei se o $\cos(i)$ era constante ao longo do dia por meio de uma ANOVA de medidas repetidas em blocos, com o $\cos(i)$ como variável resposta e o período do dia (manhã ou tarde) como variável preditora, controlando a variação devida aos indivíduos. As médias dos ângulos e azimutes são acompanhadas da estimativa de dispersão dos dados ($1 - r$), que varia entre 0 (máxima concentração de valores em um sentido) e 1 (valores em várias direções), sendo r o tamanho do vetor médio dos valores considerados (Zar 1996). Testei a relação entre a média individual dos ângulos de inclinação dos folíolos e a inclinação do Sol no momento da medida de cada indivíduo por meio de uma regressão linear, utilizando o cosseno desses ângulos como forma de linearizar os dados. Como os azimutes dos folíolos foram aproximados para as oito coordenadas principais, testei se essa orientação era uniformemente distribuída pelas coordenadas e se a frequência de folíolos orientados nessas direções era igual entre os períodos por meio de testes de χ^2 . Todas as análises foram feitas no ambiente estatístico R v.2.7.0 (R Development Core Team 2008).

RESULTADOS

O valor do cosseno do ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície foliar (i) de *S. tomentosa* foi $0,11 \pm 0,46$ (média \pm desvio padrão) pela manhã e $0,13 \pm 0,48$ à tarde. O ângulo i equivale a aproximadamente 83° entre os raios e a reta perpendicular à folha. Esse valor foi constante ao longo do dia ($F_{1,359} = 0,13$; $p = 0,72$).

O ângulo de inclinação dos raios solares (\tilde{S}) variou entre 15° e 40° de manhã, e de 30° a 5° à tarde. De manhã, os folíolos apresentaram uma inclinação média de 51,67° ($1 - r = 0,07$; $\cos 51,67^\circ = 0,62$) em relação ao horizonte (\tilde{F}). À tarde, esse valor diminuiu para 47,30° ($1 - r = 0,07$; $\cos 47,30^\circ = 0,68$) (Figura 2). Essa alteração foi diretamente relacionada à variação do ângulo de inclinação dos raios solares ($F_{1,359} = 6,76$; $p = 0,01$).

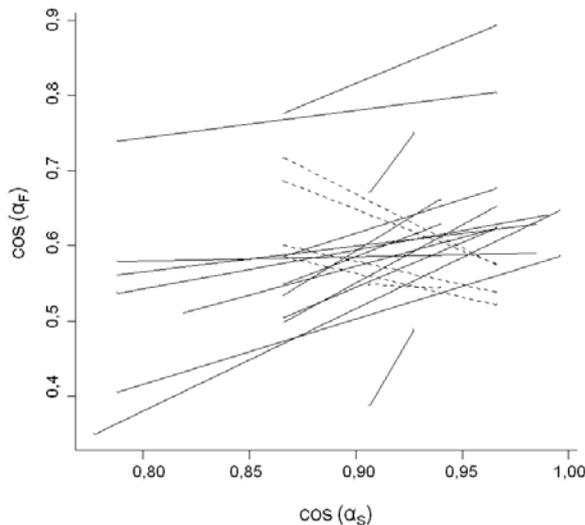


Figura 2. Variação da média do cosseno do ângulo de inclinação dos folíolos ($\cos(\alpha_F)$) dos 20 indivíduos de *Sophora tomentosa* amostrados em função do cosseno da inclinação dos raios solares ($\cos(\alpha_S)$). Linhas contínuas indicam indivíduos cujo ângulo médio apresentou relação positiva com α_S , e linhas tracejadas, as relações negativas.

De manhã, o Sol se posicionou entre 80° e 50° em relação ao Norte, e à tarde, entre 340° e 310° (α_S) (Figura 3). Não houve direcionamento dos folíolos para uma determinada posição azimutal em nenhum período do dia, uma vez que a dispersão dos dados foi muito grande ($(1-r)$ manhã = 0,88; $(1-r)$ tarde = 0,73) (Figura 3). Por causa disso, não foi possível calcular uma média dessa posição para nenhum dos momentos do dia. Todavia, essa distribuição não é uniforme ($\chi^2 = 41,32$; g.l. = 7; $p < 0,001$). Apesar da alta dispersão dos dados, é possível observar que os folíolos orientam-se predominantemente para azimutes entre 90° e 270° (Figura 3), intervalo que inclui, em média, 73% dos folíolos amostrados. Essa distribuição não difere entre o período da manhã e da tarde ($\chi^2 = 9,63$; g.l. = 7; $p = 0,21$).

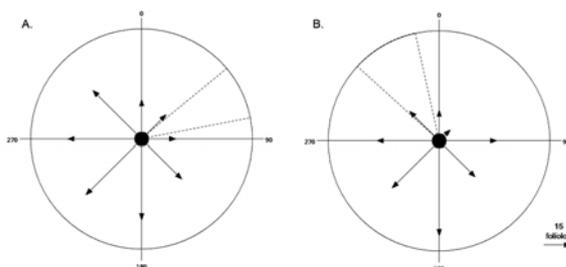


Figura 3. Orientação azimutal dos folíolos de *Sophora tomentosa* de manhã (A) e à tarde (B). A área tracejada representa a variação da posição do Sol durante as amostragens.

DISCUSSÃO

O ângulo de incidência do Sol sobre os folíolos de *Sophora tomentosa* foi constante ao longo do dia, e seu cosseno, que é proporcional à intensidade da radiação, foi relativamente baixo (0,12). Como o ângulo de incidência depende das posições relativas da folha e do Sol, e como tanto o ângulo do Sol quanto a sua posição no horizonte se alteram com o passar do tempo, seria esperada a alteração de pelo menos alguma das orientações da folha em relação aos raios solares para que o ângulo de incidência fosse constante.

De fato, a inclinação da superfície foliar em relação ao solo se alterou ao longo do dia em função da direção dos raios solares. Todavia, os azimutes dos folíolos não mudaram de maneira significativa. Mas o fato de os folíolos se orientarem preferencialmente para direções perpendiculares ou opostas ao azimute do Sol provoca a diminuição da incidência de radiação na superfície fotossintética.

Com a alteração da orientação dos folíolos, a incidência de luz nas superfícies fotossintéticas de *S. tomentosa* é mantida baixa mesmo quando os indivíduos estão expostos continuamente à radiação solar ao longo do dia. Esse fototropismo negativo é comum em várias espécies da família Leguminosae, e faz com que a taxa fotossintética permaneça em níveis adequados sob forte irradiação solar (Russel *et al.* 1989). A capacidade de movimentação das folhas deve favorecer a ocorrência dessas espécies em áreas como a restinga arbustiva, onde *S. tomentosa* é encontrada, diminuindo o estresse luminoso ou hídrico da planta. Com essa adaptação, tanto a incidência direta dos raios na superfície foliar como a temperatura da folha devem ser menores em comparação com folhas que não apresentam essa resposta, principalmente nos horários mais quentes do dia. Plantas sem essa plasticidade devem apresentar outras estratégias que, da mesma forma, favoreçam a sua ocorrência em locais com alto estresse luminoso e hídrico, como a pilosidade das folhas, que reflete os raios solares, ou alterações fisiológicas ao longo do dia, concentrando as trocas gasosas em horários de menor temperatura, diminuindo a perda de água pelos estômatos (Lüttge 1997).

Tanto as altas temperaturas como a alteração no balanço hídrico devido à alta taxa de evapotranspiração, ou mesmo a fotoinibição, podem desencadear os movimentos característicos do

fototropismo negativo (Russel *et al.* 1989). Um teste comparando a movimentação das folhas de *S. tomentosa* sob diversas combinações dessas condições abióticas (temperatura, umidade e intensidade de luz) pode indicar qual desses fatores afeta mais o fototropismo observado nessa espécie.

AGRADECIMENTOS

Ao Paulo Inácio pelo auxílio nas análises, à Camila, pela ajuda na elaboração do projeto, ao Billy pela ajuda em campo, à Paula, Cobrinha, Pedro, e Glauco (e aos demais coleguinhas) pela consultoria mental, à *Sophora tomentosa*, por se comportar tão bem durante a coleta de dados e ao Sol, por proporcionar o estresse luminoso em nossa plantinhas, objetos de tantos projetos realizados no curso de campo.

REFERÊNCIAS

- Begon M., Townsend C.R. & Harper J.L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Briggs D. & Walters S.M. 1997. *Plant variation and evolution*. Cambridge University Press, New York.
- Couto O.S. & Cordeiro R.M.S. 2005. *Manual de espécie vegetais do estado de São Paulo*. Secretaria do Meio Ambiente, Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais, São Paulo.
- Harper J.L. 1990. *Population biology of plants*. Academic Press, San Diego.
- Larcher W. 1984. *Ecofisiologia vegetal*. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- Lüttge U. 1997. *Physiological ecology of tropical plants*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Mariscal A.M., Couto F.M., Lapate M.E., Diniz S. 2008. Arquitetura de copa como adaptação ao estresse luminoso. *Livro do Curso de Campo Ecologia da Mata Atlântica*. Disponível em: <ecologia.ib.usp.br/curso>.
- R Development Core Team. 2008. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Russel G., Marshall B. & Jarvis P.G. 1989. *Plant canopies: their growth, form and function*. Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge.
- Souza V. C. & Capellari-Jr L. 2004. A vegetação das dunas e restingas da estação ecológica Juréia-Itatins In: *Estação Ecológica Juréia – Itatins, ambiente físico, flora e fauna* (O.A.V. Marques & W. Duleba). Holos Editora, Ribeirão Preto.
- Zar J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall International, London.