



Variações na morfologia de sustentação em *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) em diferentes condições de inundação do solo

Amanda Prado, Carolina Caiado Gomes, Felipe Librán & Felipe Oricchio

RESUMO: Muitas plantas têm respostas plásticas associadas à heterogeneidade ambiental. Em manguezais, parte dessa heterogeneidade é causada pelas variações da maré, sendo que áreas mais inundadas têm solo menos estável. *Rhizophora mangle* é uma planta de manguezal que apresenta raízes escoras que auxiliam sua sustentação. Hipotetizamos que indivíduos de *R. mangle* em áreas sujeitas à maior inundação apresentarão mais estruturas de sustentação do que indivíduos em áreas de menor inundação. Esperávamos que o número de raízes escoras e a área de fixação dessas raízes seriam maiores em solos mais frequentemente inundados. Encontramos que há maior investimento nas estruturas de sustentação analisadas nos indivíduos de solos mais instáveis. Concluimos que, em solos mais instáveis, os indivíduos de *R. mangle* têm plasticidade fenotípica quanto ao investimento em estruturas de sustentação, podendo acarretar em menor investimento em outras estruturas.

PALAVRAS CHAVE: arquitetura vegetal, heterogeneidade ambiental, manguezal, plasticidade fenotípica, raízes escora

INTRODUÇÃO

Variações morfológicas nos indivíduos de uma mesma espécie podem ser produto da plasticidade fenotípica (Zelditch *et al.*, 2004), que é a capacidade dos indivíduos exibirem vários fenótipos dado um mesmo genótipo (Begon *et al.*, 2006). Em plantas, frequentemente observa-se plasticidade fenotípica na arquitetura dos indivíduos (Taiz & Zeiger, 2004), o que pode explicar o sucesso de uma mesma espécie em se estabelecer e sobreviver em ambientes com recursos distintos e condições muitas vezes adversas.

Manguezais são ecossistemas costeiros que podem apresentar condições adversas às plantas que lá residem. Esses ambientes de transição entre ambientes terrestre e marinho são influenciados pela dinâmica das marés (Carter, 1993), de forma que a variação na intensidade e frequência de inundação resulta em zonas com diferentes níveis de salinidade e graus de estabilidade do substrato. Assim, as plantas presentes nesse ecossistema possuem adaptações fisiológicas específicas, tais como a excreção de sal, e sistemas radiculares e caulinares de fixação. A distribuição das espécies de plantas pelas zonas formadas depende de como funcionam seus sistemas de excreção de sal e sustentação e do quanto as espécies conseguem moldá-los entre as zonas (Nascimento *et al.*, 2008). Valdujo (2008), por exemplo, encontrou que a distribuição das plantas no manguezal está relacionada com os sistemas de sustentação de cada espécie. As espécies que

possuíam sistemas de sustentação que forneciam maior estabilidade à planta estavam presentes em zonas ao longo de todo gradiente de inundação de um manguezal, enquanto espécies com sistemas de sustentação que não ofereciam tanta estabilidade estavam restritas às zonas menos inundadas (Valdujo, 2008).

Na costa atlântica da América do Sul há quatro gêneros dominantes de plantas nos mangues: *Rhizophora*, *Laguncularia*, *Avicennia* e *Conocarpus*. *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) é uma das espécies arbóreas que ocorre no ecossistema de manguezal brasileiro (Vannucci, 2001) ao longo de todo o gradiente de inundação (Valdujo, 2008). *Rhizophora mangle* possui uma estrutura radicular específica para sustentação, que são diversos ramos que emergem do caule e se projetam em várias direções rumo ao solo, bifurcando progressivamente até se fixarem no solo. Essa estrutura é denominada raiz escora (Menezes, 2006) e dá suporte mecânico à planta no solo instável do manguezal.

Dado que plantas podem apresentar plasticidade fenotípica, que nos manguezais há aumento na instabilidade do solo à medida que o solo fica inundado por mais tempo e que *R. mangle* ocorre ao longo de todas as zonas de um manguezal, tanto nas mais inundadas quanto nas menos inundadas, o objetivo deste trabalho é responder a seguinte pergunta: como a dinâmica de inundações do manguezal afeta

a arquitetura de *R. mangle* nas diferentes zonas? Testamos a hipótese que indivíduos em zonas mais sujeitas às inundações terão arquitetura que as forneça maior sustentação e estabilidade. Nossa predição é que em zonas de solo mais instável os indivíduos terão maior área de fixação das raízes escora e maior número de escoras os apoiando no solo.

MATERIAL & MÉTODOS

Coleta de dados

Desenvolvemos o estudo em uma área de manguezal às margens do Rio Una, no município de Peruíbe, litoral sul do estado de São Paulo. Delimitamos duas parcelas de 50 x 50 m, de mesmo relevo, uma próxima à margem do rio, sujeita a um maior tempo de inundação, a qual nos referimos como mais lodosa, e outra no interior do mangue, sujeita a um menor tempo de inundação, a qual nos referimos como menos lodosa.

Fizemos uma amostragem arbitrária de 12 indivíduos de *R. mangle* em cada uma das parcelas. As variáveis utilizadas como medidas de sustentação dos indivíduos foram área de fixação da raiz e número de pontos de apoio de raízes escora no solo. Para medir a área de fixação das raízes de cada indivíduo, aproximamos a área abrangida pelos pontos de apoio das raízes no solo ao formato de uma elipse. Medimos, em metros, o raio maior e o menor dessa elipse. O número de pontos de apoios foi obtido contando todas as vezes que as ramificações das raízes tocavam no solo.

Usamos o torque, medido como a razão entre a área do tronco e a área da copa, como uma covariável. Essa covariável foi incluída nas análises, pois as medidas de sustentação obtidas devem variar com o tamanho da árvore. Para medir a área da copa, consideramos a projeção da copa de cada indivíduo no solo como uma elipse e medimos, em metros, o raio maior e o raio menor da elipse imaginária. Para medir a área basal do tronco, medimos o raio do tronco a partir de seu perímetro. O perímetro foi medido, em centímetros, acima da raiz escora mais superior que se projetava do tronco principal.

Análise estatística

Temos a premissa que a sustentação aumenta à mesma taxa que o aumento do torque, de forma que os coeficientes angulares das retas da regressão das variáveis resposta em função do torque dos indivíduos da parcela mais lodosa e menos lodosa devem ser semelhantes. Para testar tal premissa, calculamos a diferença entre o coeficiente angular

da reta de regressão linear da área mais lodosa e da área menos lodosa, que foi nossa estatística de interesse. Testamos a estatística de interesse observada contra um cenário nulo em que aleatorizamos 10.000 vezes os dados e calculamos a diferença entre os coeficientes angulares das retas das regressões lineares das áreas mais lodosa e menos lodosa obtidas a partir dos dados aleatorizados. A probabilidade de obtermos uma estatística de interesse maior ou igual à observada pelo cenário nulo foi de 0,07. Assim, aceitamos a hipótese nula de que os coeficientes angulares das retas da área mais lodosa e menos lodosa são semelhantes e prosseguimos com as análises.

Dado que aceitamos a premissa de que a sustentação aumenta à mesma taxa que o aumento do torque, calculamos os coeficientes angular e linear da reta de regressão do número de pontos de apoio em função da variável de torque. Com esses coeficientes, calculamos os valores previstos de número de pontos de apoio. Em seguida, calculamos o resíduo entre o valor observado de números de pontos de apoio e o valor previsto pela reta da regressão. Obtivemos a média dos resíduos para indivíduos da parcela mais lodosa e a média dos resíduos para indivíduos da parcela menos lodosa. A diferença entre as médias dos resíduos da parcela mais lodosa e menos lodosa foi a nossa estatística de interesse. Esperávamos que quanto maior a média dos resíduos da parcela mais lodosa em relação à média dos resíduos da parcela menos lodosa, as árvores da área mais lodosa apresentariam mais sustentação do que as árvores da área menos lodosa. Criamos um cenário nulo em que aleatorizamos 10.000 vezes os dados sobre o número de pontos de apoio e calculamos a diferença entre as médias dos resíduos da parcela mais lodosa e menos lodosa obtidas a partir dos dados aleatorizados. Então, calculamos a proporção de valores da distribuição de resíduos gerados no cenário nulo que foram maiores ou iguais aos valores observados das estatísticas de interesse e, com isso, estimamos a probabilidade de obtermos pelo cenário nulo valores maiores ou iguais aos observados. O mesmo procedimento foi feito para a variável resposta área de fixação da raiz.

RESULTADOS

Na parcela mais lodosa, os indivíduos apresentaram, em média (\pm DP), $16,07 \pm 10,38$ m² de área de fixação da raiz e $110,4 \pm 43,2$ pontos de apoio. Na parcela menos lodosa, os indivíduos apresentaram, em média (\pm DP), $9,45$ m² $\pm 6,97$ de área de fixação da raiz e $64,0 \pm 29,1$ pontos de apoio. A média das razões área da copa/área do tronco (\pm

DP) foi de $257,85 \pm 115,29$ e $332,10 \pm 228,72$ nas parcelas mais e menos lodosa, respectivamente. A inclinação das retas de regressão foi a mesma em ambas as parcelas e houve uma relação positiva entre área de fixação da raiz e número de pontos de apoio e a razão área da copa/área do tronco.

A média dos resíduos da reta de regressão da área de fixação da raiz em função da área da copa/área do tronco da parcela mais lodosa ($3,76 \pm 13,59$) diferiu da média dos resíduos da parcela menos lodosa ($-3,76 \pm 3,25$; $p = 0,017$). Portanto, os interceptos das retas de regressão da área de fixação da raiz em função da área da copa/área do tronco de indivíduos das áreas mais lodosa e menos lodosa são diferentes (mais lodosa = 11,65; menos lodosa = 3,76; Figura 1).

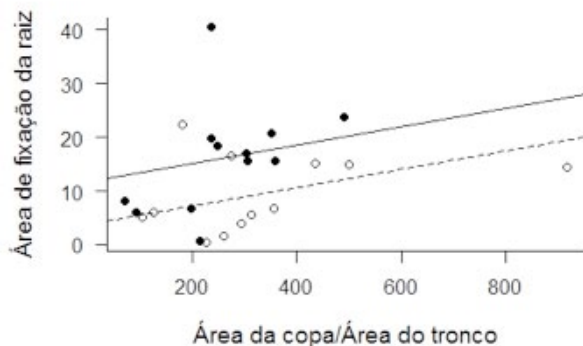


Figura 1. Área de fixação da raiz de *Rhizophora mangle* em função da razão área da copa/área do tronco na parcela mais lodosa, indicada por círculos preenchidos, e menos lodosa, indicada por círculos vazios.

A média dos resíduos da reta de regressão do número de pontos de apoio em função da área da copa/área do tronco da parcela mais lodosa ($25,80 \pm 38,89$) também diferiu da média dos resíduos da parcela menos lodosa ($-25,80 \pm 24,46$; $p < 0,001$). Portanto, os interceptos das retas de regressão de número de pontos de apoios em função da área da copa/área do tronco de indivíduos das áreas mais lodosa e menos lodosa são diferentes (mais lodosa = 83,25; menos lodosa = 29,10; Figura 2).

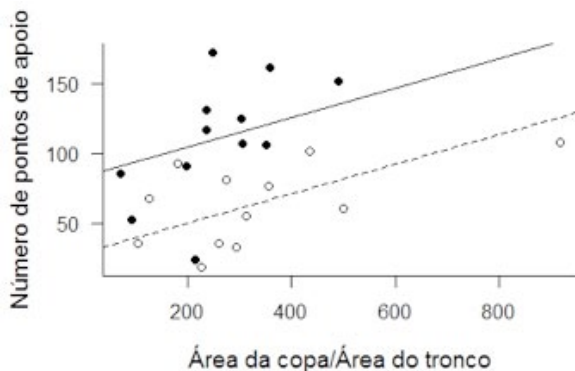


Figura 2. Número de pontos de apoio de *Rhizophora mangle* em função da razão área da copa/área do tronco

entre a parcela mais lodosa, indicada por círculos preenchidos, e menos lodosa, indicada por círculos vazios.

DISCUSSÃO

Encontramos relação entre o torque dos indivíduos de *R. mangle* e seu investimento em estruturas de sustentação. Essa relação é positiva tanto em áreas mais inundadas quanto em áreas menos inundadas. Esse resultado sugere que sempre há um investimento mínimo dos indivíduos de *R. mangle* em sustentação, o que pode ser uma explicação para a presença desta espécie em todas as zonas do manguezal. Entretanto, indivíduos com torques semelhantes apresentam estruturas de sustentação que fornecem mais estabilidade na parcela sob maior inundação do que na parcela sob menor inundação. Dado que o risco de queda depende do tipo de terreno, nossos resultados indicam que a variação na inundação no manguezal gera zonas que diferem em estabilidade do solo e que *R. mangle* apresenta variações morfológicas em sua arquitetura de sustentação em função da zona do manguezal em que se encontra.

Os indivíduos em áreas mais inundadas gastam mais energia em estruturas de sustentação para sobreviverem em um ambiente de menor estabilidade do solo. Para os indivíduos de áreas menos inundadas, o investimento de energia em estruturas de sustentação pode ser menor, uma vez que o solo é mais estável. Sendo assim, os indivíduos de áreas menos inundadas poderiam direcionar o investimento de energia para outras estruturas. A variação de inundação nos mangues, além de gerar um gradiente de instabilidade do solo, gera também um gradiente de competição. Nos mangues do litoral paulista, *R. mangle* é dominante em áreas mais inundadas, enquanto as duas outras espécies do mangue ocorrem em baixas densidades ou não ocorrem, pois não têm estruturas de sustentação suficientes para sobreviverem nestas áreas (Nascimento *et al.*, 2008; Valdujo, 2008). Sendo assim, em áreas mais inundadas, a competição interespecífica para *R. mangle* é fraca. Nas áreas menos inundadas, entretanto, *R. mangle* co-ocorre com as outras duas espécies arbóreas (Nascimento *et al.*, 2008; Valdujo, 2008) o que deve representar uma maior competição interespecífica para *R. mangle*. A variação na competição interespecífica pode gerar, assim como a variação na estabilidade do solo, diferenças morfológicas entre os indivíduos de *R. mangle* ao longo do gradiente de inundação. Futuros estudos poderiam investigar se o gradiente de competição gera uma plasticidade fenotípica em

relação a outras características morfológicas de *R. mangle* como, por exemplo, estruturas reprodutivas. *Rizophora mangle* deve apresentar diferentes investimentos reprodutivos ao longo do gradiente de inundação de forma que, nas áreas menos inundadas, onde a competição interespecífica é supostamente maior, os propágulos de *R. mangle* devem ter maiores tamanhos e quantidade de reservas energéticas do que propágulos de *R. mangle* em áreas menos inundadas, onde a competição interespecífica supostamente é menor.

Concluimos que *R. mangle* apresenta plasticidade fenotípica quanto à arquitetura da raiz como consequência de variações na estabilidade do solo do manguezal. Tal fato pode indicar um maior investimento energético em sustentação nas áreas de solo mais instável, enquanto que nas áreas de solo mais estável a planta pode economizar energia em sustentação e direcioná-la para as características que aumentem o desempenho em reprodução e crescimento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Cristiane Millán e à Sara Mortara pela orientação, discussões e pela grande ajuda na coleta dos dados e ao Paulo Inácio pelas sugestões para melhoria do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Begon, M.; C.R. Townsend & J.L Harper. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Blackwell Science, Oxford.
- Carter, R.W.G. 1993. *Coastal environments*. St Edmundsbury Press, Suffolk.
- Menezes, N.L. 2006. Rhizophores in *Rhizophora mangle* L.: an alternative interpretation of so-called “aerial roots”. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78:213-226.
- Nascimento, E.R.; L.X. Lokschin; M.E. Lapate & P.H. Valdujo. 2008. Distribuição de espécies arbóreas no gradiente de inundação no manguezal. Em: Livro do curso de campo “Ecologia da Mata Atlântica” (G. Machado; P.I.K.L. Prado & A.A. Oliveira, eds.). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Taiz, L. & E. Zeiger. 2004. *Fisiologia vegetal*. Editora Artmed, Porto Alegre.
- Valdujo, P.H. 2008. Distribuição de espécies arbóreas sob diferentes níveis de inundação no manguezal. Em: Livro do curso de campo “Ecologia da Mata Atlântica” (G. Machado; P.I.K.L.

Prado & A.A. Oliveira, eds.). Universidade de São Paulo, São Paulo.

Vannucci, M. 2001. What is special about mangroves? *Brazilian Journal of Biology*, 61:599-603.

Zelditch, M.L.; D.L. Swiderski; H. David-Sheets & W.L. Fink. 2004. *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Elsevier Academic Press, San Diego.

Orientação: Cristiane Millán & Sara Mortara