

Relações alométricas e modelos de estabilidade mecânica em duas espécies de Vochysiaceae em um fragmento de Cerrado

ALONSO, A.P. DE O.¹, COSTA, R.C.², MORITA, V.U.¹, OLIVEIRA, M.S.¹, RIOS, N.M.¹ & SPOLON, M.G.¹.

RESUMO - Alometria e adequação a um dos modelos de estabilidade mecânica foram verificadas para duas espécies de Vochysiaceae - *Qualea grandiflora* e *Vochysia tucanorum*, testando convergência de alometria em função da proximidade filogenética. O estudo foi realizado em um fragmento de cerrado em Itirapina, interior de São Paulo. As linhas de regressão apontaram linearidade na relação altura x diâmetro e relações alométricas significativamente semelhantes para as duas espécies. Ambas se adequaram ao modelo de similaridade geométrica. Os resultados obtidos no presente estudo apenas confirmam a semelhança nas relações alométricas para as duas espécies analisadas. Estudos mais abrangentes seriam necessários para inferir a convergência nas relações alométricas em função da filogenia.

Palavras-chave - *Qualea grandiflora*, *Vochysia tucanorum*, alometria, filogenia, convergência.

Introdução

Gravidade, vento e epífitos produzem forças que atingem ramos aéreos de plantas (Waller 1986). Dessa forma, plantas adultas para atingirem uma determinada altura requerem um diâmetro mínimo para não tombarem devido às suas próprias massas e à ação do vento. De acordo com Sposito & Santos (2001), a seleção natural favoreceria árvores que têm uma relação altura-diâmetro que permite crescimento em altura sem comprometimento da estabilidade mecânica, evidenciando uma estratégia de adaptação à sua própria sustentação e tais relações dependentes do tamanho da planta são denominadas alométricas.

O design mecânico de árvores tem sido descrito por três modelos: o da similaridade elástica, o da similaridade de estresse constante e o da similaridade geométrica (Sposito & Santos 2001). De acordo com o modelo da similaridade elástica, a deflexão do lado livre de um caule é constante em relação à sua altura. Para resistir à queda sob seu próprio peso, o diâmetro basal (D)

¹Disciplina BT791, Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6109, CEP 13083-970, Campinas, SP, Brasil.

²Disciplina NE412, Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6109, CEP 13083-970, Campinas, SP, Brasil.

do tronco deve ser proporcional a $3/2$ da potência da altura da planta ($D \propto H^{3/2}$ ou $H \propto D^{2/3}$) (MacMahon 1973). O modelo da similaridade de estresse propõe que o nível de estresse máximo é mantido através do comprimento (L) de um ramo ou a altura (H) de um tronco de uma árvore proporcional a $1/2$ da potencia do diâmetro. Para tanto, $H \propto D^{1/2}$ ou $D \propto H^2$ (Niklas 1994). Finalmente, o modelo da similaridade geométrica assume uma constância na relação altura-diâmetro ao longo do desenvolvimento da planta, em que a altura cresce em proporção direta ao diâmetro $H \propto D$ (crescimento isométrico), segundo Niklas (1994).

Relações alométricas comparadas podem apontar para convergência de caracteres sob diferentes aspectos de pressão ambiental e filogenia. *Alphitonia petriei* e *Polyscias australiana* em seus estádios sucessionais iniciais e *Cardwellia sublimis* e *Syzygium payraceum* em seus estádios tardios foram concordantes em suas relações alométricas ocupando um mesmo ambiente (Claussen & Maycock 1995). No caso de Yamada et al. (2000), espécies filogeneticamente próximas apresentaram diferentes relações alométricas relacionadas ao hábitat ocupado. Sposito & Santos (2001) compararam relações alométricas em oito espécies de *Cecropia* de locais diferentes do Brasil e obtiveram uma convergência de alometria entre indivíduos de espécies diferentes, porém filogeneticamente próximas.

Este trabalho propõe verificar se há convergência nas relações alométricas devido a proximidade filogenética entre duas espécies de cerrado: *Qualea grandiflora* (Mart.) e *Vochysia tucanorum* (Mart.) - pertencentes à mesma família (Vochysiaceae) e localizadas em um mesmo hábitat. Também se propõe a verificar a adequação das espécies a um dos modelos de estabilidade mecânica.

Material e métodos

O estudo foi realizado em um fragmento de cerrado denominado Valério (22°13' S e 47°51' W), localizada no município de Itirapina, Estado de São Paulo, a 769 m de altitude. A área faz parte da Estação Experimental de Itirapina (E.E.I.), pertencente ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo e está livre de incêndios há mais de 20 anos. O fragmento, entretanto, é rodeado por reflorestamentos de *Pinus sp*, podendo ser encontrados indivíduos dessas espécies espalhados no fragmento.

A região apresenta clima estacional do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, sendo mesotérmico de inverno seco e verão chuvoso (Giannotti & Leitão Filho 1992). A

temperatura média anual é de 22,0° C (Delgado et al. 1994). A média de precipitação anual é de 1425mm e o período chuvoso estende-se de outubro a março e corresponde a 84% do total de chuvas anuais.(Delgado et al. 1994).

O fragmento apresenta neossolo quartzarênico (Embrapa 1999). Esse tipo de solo é de composição essencialmente quartzarênica e com quantidade bastante restrita de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo. (Embrapa 1999). Segundo Ribeiro & Walter (1998), a fitofisionomia do fragmento corresponderia a um subtipo do Cerrado sentido restrito, chamado de Cerrado denso, predominantemente arbóreo e com os estratos arbustivo e herbáceo ralos.

As espécies estudadas, pertencentes à família Vochysiaceae, foram *Qualea grandiflora* e *Vochisia tucanorum* (deste ponto em diante denominadas apenas *Q. grandiflora* e *V. tucanorum*).

Q. grandiflora, é conhecida popularmente como pau-terra, pau-terra-do-campo, ou pau-terra-do-cerrado. Planta pioneira adaptada a áreas abertas e terrenos pobres, amplamente dispersa. Decídua, heliófita e seletiva xerófita, produz anualmente uma quantidade grande de sementes viáveis. Floresce de novembro a janeiro, sendo que a maturação dos frutos ocorre nos meses de agosto e setembro (Lorenzi 1992).

V. tucanorum é popularmente conhecida, dentre outros nomes, por pau-de-tucano, rabo-de-tucano, cinzeiro e pau-doce. Planta pioneira, adaptada a terrenos arenosos e pobres, perenifólia, heliófita, indiferente às condições físicas e químicas do solo, sendo amplamente dispersa, mas de forma descontínua. Produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis disseminadas pelo vento. Floresce no período de novembro a março e os frutos amadurecem em agosto e setembro (Lorenzi 1992).

Ambas as espécies apresentam altura média entre 7 e 12m, diâmetro de tronco de 30 a 40cm e estão presentes em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e São Paulo, sendo encontradas tanto em formações primárias quanto em secundárias (Lorenzi 1992). A escolha dessas duas espécies para o estudo deveu-se à sua proximidade filogenética, que permitiria comparação entre espécies com elevado grau de parentesco e ambas eram comuns no fragmento estudado, sendo, de acordo com Lorenzi (1992), facilmente reconhecíveis em estado vegetativo.

Os dados para as duas espécies foram coletados em uma área de 50x40m, dividida em 80 parcelas permanentes e contíguas de 5x5m. Todas as plantas destas espécies que se

apresentassem individualizadas à altura do solo, sem restrições de tamanho, foram amostradas. Foram excluídos indivíduos com rebrota ou que fossem forófitos para lianas. Com o auxílio de paquímetro, fita métrica, trena e clinômetro foram tomados os diâmetros dos caules à altura do solo (DAS), ou perímetro do caule (também à altura do solo), e a altura (H) da planta ou a medida em graus com o clinômetro e distância do operador ao indivíduo medido. As medidas de perímetro foram convertidas em diâmetro (D), bem como as do clinômetro em medidas de altura.

Na análise dos dados, para se relacionar H e D como variáveis independente e dependente, respectivamente, utilizou-se a análise de regressão linear, tendo-se utilizado, para na regressão, $\log H$ e $\log D$. Tal análise pressupõe que haja uma linearidade na relação entre $\log H$ e $\log D$, havendo uma mudança proporcional no valor da variável dependente quando a variável independente sofre alguma mudança (Siegel 1988). É possível, dessa forma, estabelecer-se uma reta de regressão sob a forma

$$y = a + bx$$

onde y é a variável dependente, a é o coeficiente linear da reta (intercepto do eixo- y), b é o coeficiente angular (tangente do ângulo formado entre a reta e o eixo- x) e x é a variável independente. A regressão linear ajusta os pontos obtidos a partir dos dados a uma reta determinada pelo método dos quadrados mínimos. Pode-se, também, mensurar o grau de correlação entre duas variáveis através do coeficiente de correlação (r) de Pearson (Vieira 1980) e, a partir deste, obter-se o coeficiente de determinação (r^2), que mede a proporção da variação total de y , explicada através do ajuste do modelo linear. Quanto melhor o ajuste dos dados à reta, maior será o valor de r^2 ($0 < r^2 \leq 1$) e, assim, o coeficiente de determinação pode ser tomado como medida descritiva da qualidade do ajuste obtido (Berquó *et al.* 1981).

No modelo de similaridade elástica, $D \propto H^{3/2}$ e $b=1,5$, pois utiliza-se $\log H^{3/2}$; no da similaridade de estresse, $D \propto H^2$ e $b=2$, pois utiliza-se $\log H^2$ e, finalmente, no modelo da similaridade geométrica, $D \propto H$ e $b=1$, pois utiliza-se $\log H$.

A análise e comparação dos coeficientes angulares e lineares obtidos das regressões pode ser feita por meio de estimativa por intervalo de confiança. Essa estimativa consiste em se descobrir um intervalo numérico dentro do qual, com algum grau de certeza (95% neste trabalho) (Magalhães & Lima 2001), a média amostral deve estar contida. Dessa forma, se os valores dos coeficientes de uma espécie estiverem contidos nos intervalos de confiança da outra, pode-se afirmar que ambas têm comportamento alométrico bastante próximo; caso contrário, suas

relações alométricas não podem ser consideradas convergentes. Também pode-se inferir que, caso o valor do coeficiente angular de algum modelo de similaridade esteja contido no intervalo de confiança de b , a espécie se adequa a tal modelo.

Resultados

Foram analisados 38 indivíduos de *Q. grandiflora* e 31 de *V. tucanorum*. As equações das retas de regressão linear obtidas foram $\log D = 0,29 + 1,15 \log H$ para *Q. grandiflora* e $\log D = 0,37 + 1,06 \log H$ para *V. tucanorum*. As linhas de regressão para as duas espécies estão nas figuras 1 e 2 respectivamente. As linhas de regressão obtidas para as relações alométricas dos indivíduos possuem alto grau de confiabilidade dados seus valores de coeficiente de determinação (tabela 1).

Os intervalos de confiança dos coeficientes de regressão e dos interceptos sobrepõem-se parcialmente em *Q. grandiflora* e *V. tucanorum*, indicando que as relações alométricas para ambas as espécies são semelhantes (tabela 1).

As espécies se enquadram no modelo de similaridade geométrica (figura 3), já que os intervalos de confiança dos coeficientes de regressão abrangem o valor 1 (tabela 1) (Niklas 1994).

Discussão

A semelhança nas relações alométricas verificadas para as duas espécies na ausência de variações ambientais, a princípio poderia ser justificada como uma característica filogenética. Um estudo das relações alométricas (diâmetro x altura do caule) entre duas espécies de *Cecropia*, uma associada a formigas e a outra não, em um mesmo habitat, indicou convergência alométrica sugerindo que estas características estariam filogeneticamente determinadas, não sendo afetadas por fatores do meio (Santos 2000).

Em nossa análise, as espécies estavam localizadas em um mesmo fragmento de cerrado, sendo o fator ambiental constante para toda a amostra. Archibald & Bond (2003) encontraram diferenças marcantes na alometria de *Acacia karoo* em floresta, savana e frutisetos semi-árido. Os autores afirmam que as diferenças estariam relacionadas a diferentes pressões em cada ambiente. Logo, uma análise mais consistente deveria envolver variações ambientais.

Os resultados obtidos no presente estudo apenas confirmam a semelhança de relações alométricas para as duas espécies analisadas e não apresentam dados suficientes para sustentar uma hipótese que relacione convergência de alometria em função da proximidade filogenética. Um estudo mais completo e abrangente deveria envolver pelo menos dois conjuntos de espécies filogeneticamente diferenciadas ou maior número de espécies em ambientes distintos. Estudo das relações de diâmetro e altura em oito espécies de *Cecropia* revelou semelhança nas relações alométricas (Sposito & Santos 2001). Já no estudo de Yamada et al. (2000), espécies filogeneticamente próximas apresentaram diferentes relações alométricas relacionadas ao hábitat ocupado.

Uma outra maneira de testar a hipótese inicial seria analisar outras espécies filogeneticamente distantes das duas estudadas. A observação de semelhança nas relações alométricas negaria a possibilidade da convergência de alometria em função da proximidade filogenética.

Com relação ao modelo de design mecânico, a adesão das espécies ao modelo geométrico muito provavelmente está relacionada ao padrão de estatura de árvores no cerrado, que são em geral baixas, com desvios mínimos de aceleração lateral. Nesse modelo, variações constantes no diâmetro resultam em intervalos crescentes para a altura, o que pode refletir uma estratégia de crescimento das plantas nesse ambiente, elevando as gemas acima da linha do fogo (Archibald & Bond 2003). Considerando variações constantes para altura, verifica-se um menor crescimento em diâmetro, o que provavelmente indica menor investimento em tecidos consumidores, visto as limitações de nutrientes no meio.

Referências

- ARCHIBALD, S. & BOND, W.J. 2003. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karoo* in forest, savanna and arid environments. *Oikos* 102: 3-14.
- BERQUÓ, E.S., SOUZA, J.M.P., GOTLIEB, S.L.D. Bioestatística. Editora Pedagógica e Universitária. 1ª edição. São Paulo.
- CLAUSEN, J.W. & MAYCOCK, C.R. 1995. Stem allometry in a north Queensland tropical rain forest. *Biotropica* 27: 421-426.
- DELGADO, J.M., BARBOSA, A.F., SILVA, C.E. da, ZANCHETA, D., GIANOTTI, E., PINHEIRO, G. de S., DUTRA-LUTGENS, H., FACHIN, H.C., MOTA, I.S. da, LOBO,

- M., NEGREIROS, O.C. & ANDRADE, W.J. 1994. Plano de manejo integrado das unidades de conservação de Itirapina-SP, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal. São Paulo.
- EMBRAPA. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª edição. Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro.
- GIANNOTTI, E. & LEITÃO FILHO, H.F. 1992. Composição florística do cerrado da estação experimental de Itirapina (SP). Anais do 8º Congresso SBSP: 21-25.
- LORENZI, H. 1992. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. V.1.1ª edição. Editora Plantarum. Nova Odessa, São Paulo.
- MACMAHON, T.A. 1973. Size and shape in biology. *Science* 179: 1201-1204.
- MAGALHÃES, M.N. & LIMA, A.C.P. 2001. Noções de probabilidade e estatística. IME - USP. São Paulo.
- NIKLAS, K.J. 1994. Plant allometry: the scaling of form and process. The University of Chicago Press. Chicago.
- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. (eds.) Cerrado: ambiente e flora. Embrapa, Planaltina. 89-166.
- SANO, S.M. & ALMEIDA, S. de P. 1998. Cerrado, Ambiente e Flora. Embrapa CPAC. Planaltina, DF.
- SANTOS, F. A. M. 2000. Growth and leaf demography of two *Cecropia* species. *Revista Brasileira de Botânica*, SP 23 (2): 133-141.
- SARMIENTO, G. 1984. The ecology of neotropical savannas. 1ª edição. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, EUA.
- SIEGEL, A.F. 1988. Statistics and data analysis, An introduction. John Wiley & Sons, Inc. EUA.
- SPOSITO, T.C. & SANTOS, F.A.M. 2001. Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. *American Journal of Botany* 88(5): 939-949.
- VIEIRA, S. 1980. Introdução à bioestatística. 3ª edição. Editora Campus. Rio de Janeiro.
- WALLER, D.M. 1986. The dynamics of growth and form. *Plant Ecology* (Crawley, M.J., ed.). Blackwell Scientific Publications, Oxford. 291-320.
- YAMADA, T., YAMAKURA T. & LEE, H.S. 2000. Architectural and allometric differences among *Scaphium* species are related to microhabitat preference. *Functional Ecology* 14: 731-737

Tabela 1. Dados referentes às regressões feitas para *Q. grandiflora* e *Vochisia tucanorum* no fragmento Valério, Itirapina-SP.

	<i>Q. grandiflora</i>	<i>V. tucanorum</i>
Coeficiente de Determinação (R^2) =	85,96%	88,53%
Intercepto (a) =	0,2877	0,3656
Coeficiente de Regressão (b) =	1,1495	1,0565
Intervalo de confiança de 95% (a)	0.173 a 0.403	0.267 a 0.464
Intervalo de confiança de 95% (b)	0.992 a 1.307	0.912 a 1.201

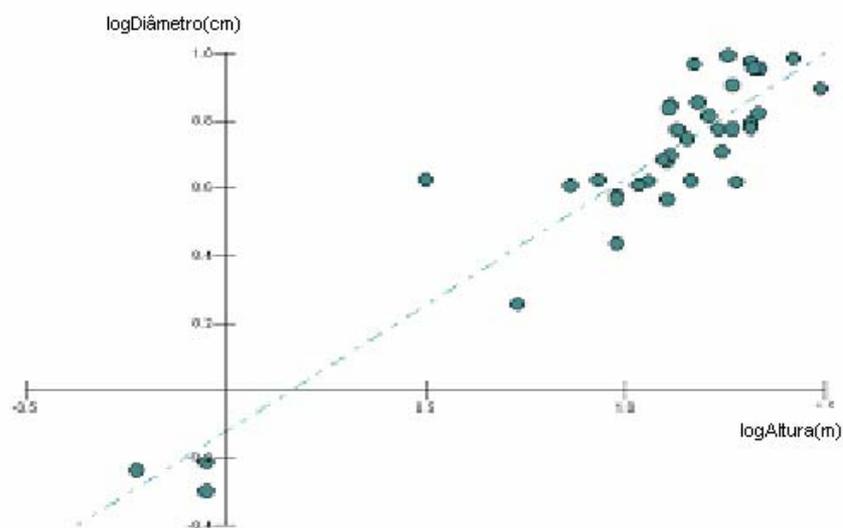


Figura 1. Regressão linear tipo I ($\log D = 0,29 + 1,15 \log H$; $p < 0,05$; $R^2 = 85,96\%$) de altura e diâmetro para *Q. grandiflora* no fragmento Valério.

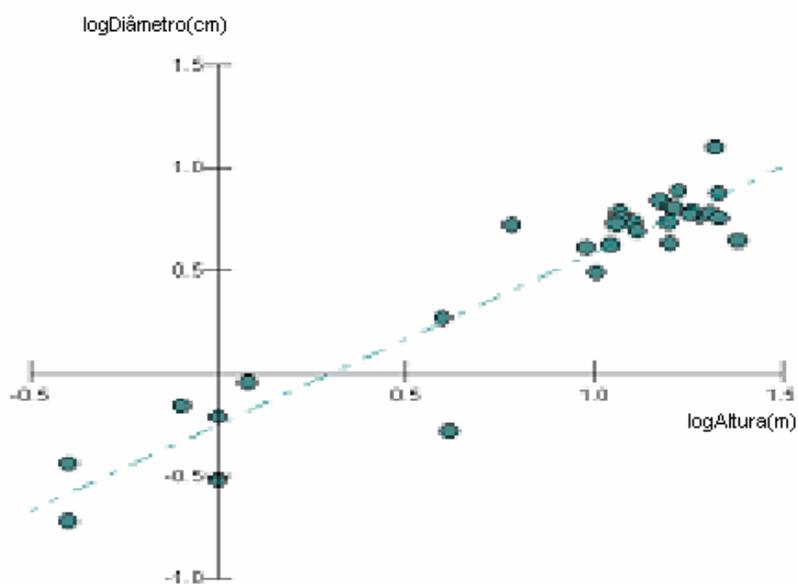


Figura 2. Regressão linear tipo I ($\log D = 0,37 + 1,06 \log H$; $p < 0,05$; $R^2 = 88,53\%$) de altura e diâmetro para *V. tucanorum* no fragmento Valério.

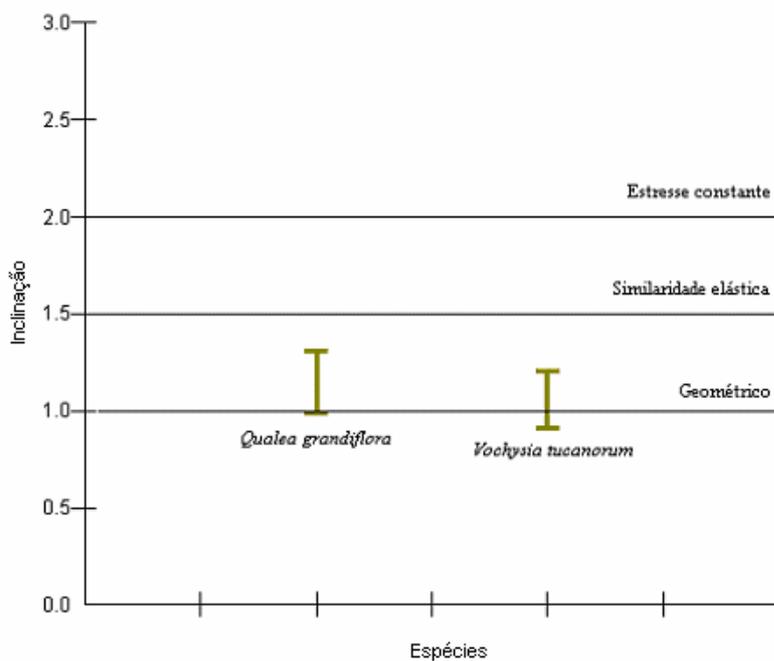


Figura 3. Regressão de quadrados mínimos para inclinação em intervalos de confiança de 95% para regressão do $\log D$ em função de $\log H$ para *Qualea grandiflora* e *Vochysia tucanorum* no fragmento de Cerrado Valério.