

ALOMETRIA E ARQUITETURA DE *Copaifera langsdorffii* (Desf.) Kuntze (FABACEAE) EM FITOFISIONOMIAS NEOTROPICAIS NO SUL DE MINAS GERAIS

ALLOMETRY AND ARCHITECTURE OF *Copaifera langsdorffii* (Desf.) Kuntze (FABACEAE) IN NEOTROPICAL PHYSIOGNOMIES IN SOUTHEASTERN BRAZIL

Malcon do Prado Costa¹ José Aldo Alves Pereira² Matheus Henrique Mota Benicio³
Helaine de Sousa⁴ Marco Aurélio Leite Fontes⁵ Paulo Oswaldo Garcia⁶

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar padrões alométricos e feições arquiteturais de *Copaifera langsdorffii* em diferentes fisionomias de uma região de tensão ecológica. As fisionomias de floresta, corredor, cerrado e cerrado rupestre foram estudadas nos municípios de Lavras e Carrancas, sul de Minas Gerais, Brasil. Foram estudadas as relações entre diâmetro do tronco, altura, área da copa, grau de deflexão e deslocamento relativo da copa, sendo analisado o grau de semelhança, entre as fisionomias, por meio de regressões e análise covariância. Foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) com variáveis biométricas coletadas e morfométricas calculadas, para caracterização de grupos mais homogêneos que evidenciem a plasticidade morfológica da espécie e suas diferentes estratégias e investimento em recursos. Como resultado das análises de regressão e covariância, encontraram-se padrões distintos, principalmente entre as fisionomias de floresta e cerrado, das fisionomias de cerrado rupestre e corredor. Um padrão de crescimento com maior investimento em altura na floresta, objetivando a garantia de espaço no dossel, e outro mais ligado ao crescimento horizontal da copa, nas fisionomias de cerrado rupestre e corredor. A PCA apresentou um gradiente de plasticidade morfológica para a espécie. A fisionomia de floresta apresentou maiores valores de altura total, largura de copa e diâmetro do tronco, e a fisionomia de cerrado rupestre mostrou valores mais elevados de grau de deflexão da copa (assimetria). O cerrado e o corredor formaram uma transição entre floresta e cerrado rupestre, no gradiente de feições morfológicas da espécie nas fisionomias.

Palavras-chave: morfologia de árvores; plasticidade fenotípica; fitogeografia; copaíba.

ABSTRACT

This study examined allometric patterns and architectural features of *Copaifera langsdorffii*, in different physiognomies in a region of ecological tension. The forest, corridor, 'cerrado', and rocky cerrado physiognomies were studied in the districts of Lavras and Carrancas, south of Minas Gerais state, Brazil. The relationships between stem diameter, height, crown area, degrees of deflection and relative displacement were analyzed, as well as the degree of similarity between the physiognomies by means of regressions and covariance analysis. The principal component analysis (PCA) was performed with the collected biometric and calculated morphometric variables to characterize the most homogeneous groups which show the

1. Engenheiro Florestal, Msc., Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). malconfloresta@gmail.com
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, CEP 37200-000, Lavras (MG). j.aldo@dcf.ufla.br
3. Engenharia Florestal, Graduando pela Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Campus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). matheusbenicio@gmail.com
4. Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental Integrada pela PUC Minas, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte (MG). helaineparao@gmail.com
5. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, CEP 37200-000, Lavras (MG). marco.a.l.fontes@gmail.com
6. Biólogo, Msc., Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, CEP 37200-000, Lavras (MG). paulogarciamg@hotmail.com

Recebido para publicação em 08/07/2009 e aceito em 18/05/2011

morphological plasticity of the species and their different strategies and resources investment. As a result of the regression and covariance analysis, two distinct patterns were found mainly between forest and 'cerrado' physiognomies from rocky cerrado and corridor physiognomies. It was found a pattern of growth through higher investment in height in the forest, aiming to guarantee space in the canopy, and a more connected to the horizontal growth of the crown, in the rocky 'cerrado' and corridor. The PCA showed a gradient of morphological plasticity for the species. The forest physiognomy presented higher values of total height, crown width and stem diameter, while the rocky 'cerrado' physiognomy presented higher degrees of deflection of the crown (asymmetry). The 'cerrado' and the corridor formed a transition between forest and rocky 'cerrado' for the gradient of morphological features of the studied species in these physiognomies.

Keywords: tree morphology; phenotypic plasticity; phytogeography; jesuit's balsam copaiba.

INTRODUÇÃO

A alometria é o estudo do crescimento de uma parte do organismo em relação ao todo, tais como a investigação das consequências do tamanho na forma do organismo, a propriedade que certos objetos têm de conservarem sua geometria e forma enquanto eles variam de tamanho (KOHYAMA, 1987; NIKLAS, 1995), ou ainda, as consequências biológicas e funções ambientais de determinados padrões alométricos (NIKLAS, 2004). Este estudo é utilizado para descrever relações quantitativas entre mudanças no tamanho de diversos organismos e uma variedade de características morfológicas, fisiológicas, de história de vida ou de comportamento (AIBA e TAKASHI, 1997; GAYON, 2000; VIEIRA et al., 2008). Tais estudos fornecem subsídios para comparação e entendimento das diferentes estratégias adaptativas dos seres vivos quanto à adaptação, à sobrevivência e à reprodução no ambiente (SPOSITO e SANTOS, 2001a).

O tamanho, formato e posição da copa de uma árvore são determinantes da quantidade de luz interceptada, entretanto as dimensões do tronco estão relacionadas à resistência mecânica frente às pressões exercidas por fatores como vento e a massa da própria copa (KING, 1996). As relações entre tamanho e forma das plantas irão influenciar o padrão estrutural e funcional dos diferentes tipos de vegetação (FONTES, 2000).

As relações mais utilizadas em alometria de plantas são aquelas entre o diâmetro do tronco e a altura total da árvore (MACHADO et al., 1994; ZANON et al., 1996; FINGER et al., 2000; SOARES et al., 2004; ANDRADE et al., 2006; SILVA et al., 2007; MACHADO et al., 2008) para geração de modelos hipsométricos. Entretanto, com base nestas relações, foram propostos modelos para explicar como se combinam as forças em um caule para que este mantenha a estrutura e arquitetura do espécime

(McMAHON, 1973; NIKLAS, 1992; 1994a; 2000; STERCK e BONGERS, 1998). Esses atributos, entre outros, são utilizados para comparação da estrutura mecânica entre plantas (KING, 1990a; NIKLAS e SPATZ 2004), associações vegetais envolvendo diferentes estágios sucessionais (PEARCY et al., 2005; POORTER et al., 2006) ou dentro do mesmo estágio (FONTES, 2000). Permitem inferir também sobre plantas com distintas formas de ocupação do perfil vertical de uma floresta (O'BRIEN et al., 1995) e sobre a história de vida de árvores em Florestas Neotropicais (KING, 1996).

Existem espécies com caracteres morfológicos que variam intra e interpopulações nos ambientes e suas estratégias de alocação de recursos devem ser estudadas para uma melhor compreensão de suas respostas adaptativas e o desenvolvimento de suas estruturas mecânicas (CRAWLEY, 1997; GRACE, 1997). Archibald e Bond (2003) estudaram formações savânicas na África do Sul e concluíram que os fatores condicionantes de estratégias alométricas foram desencadeados, principalmente, pela incidência de fogo e de danos causados por herbívoros, em *Acacia karroo* Hayne, planta com plasticidade morfológica na região estudada.

A variedade morfológica das plantas sempre foi um conceito em evidência. O que explicita uma série de arranjos de componentes tendo características morfológicas específicas organizadas em diferentes escalas (HALLÉ et al., 1978; PERRETA e VEGETTI, 2005). Muitas plantas apresentam estratégias de crescimento relacionadas ao tipo de ecunidade silvigenética, que compreende uma unidade de vegetação definida, com estágio e grupo sucessionais caracterizados e idades de colonização similares (OLDEMAN 1990; BORMANN e LIKENS 1994). As plantas possuem ampla plasticidade em seu comportamento ecológico devido às características arquiteturais (SPOSITO e SANTOS, 2001b) e aos padrões alométricos peculiares à situação ambiental,

o que promove um grande espectro morfológico para atingirem o sucesso adaptativo e colonizarem distintos ecossistemas.

A vegetação autóctone da região do Alto Rio Grande, sul de Minas Gerais, compreende um complexo mosaico composto de manchas de floresta, cerrado, campo de altitude e campo rupestre (EITEN, 1994). Esta é uma região de ecótonos entre os domínios da Mata Atlântica e do Cerrado (OLIVEIRA-FILHO e FONTES, 2000). Segundo Coutinho (2005), um complexo de fitofisionomias, que represente um gradiente entre biomas ecologicamente relacionados, possui razão para ser considerado uma unidade biológica. Oliveira-Filho e Fluminhan-Filho (1999) mapearam no Parque Florestal Quedas do Rio Bonito, sul de Minas Gerais, seis biótopos: Floresta Semidecídua, Candéal, Cerrado, Campo Rupestre, Campo de Altitude e Áreas com interferência antrópica. O surgimento de diferentes fisionomias tem sido associada a uma série de fatores incluindo clima, ocorrência de distúrbios (fogo), níveis de umidade, nutrientes e elementos tóxicos no solo (OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 2002). Para lidar com as variações desses fatores, as plantas de formações savânicas apresentam uma série de adaptações morfológicas e fisiológicas (RIZZINI, 1979).

Segundo Niklas (1994b), as explicações evolutivas para o sucesso adaptativo de espécies vegetais em diferentes ambientes são: a eficiência na interceptação de luz e utilização de recursos, a estabilização mecânica e a capacidade de reproduzir-se no local. Várias características biológicas definem a capacidade competitiva das plantas de se perpetuarem em diferentes fisionomias. Uma mínima nuance morfológica em certas espécies pode fornecer aptidão suficiente para que as mesmas desenvolvam plasticidade ambiental. A espécie *Copaifera langsdorffii* (Desf.) Kuntze é generalista (OLIVEIRA-FILHO e FONTES 2000) por apresentar ampla distribuição e ocupação nas fisionomias dos domínios Atlântico e Cerrado (LABORIAU, 1966). A plasticidade pode se refletir em mudanças nos padrões de forma das populações da espécie, de acordo com as condições ambientais existentes durante a sua colonização nas fisionomias.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar padrões alométricos e feições arquiteturais de *Copaifera langsdorffii* em diferentes fisionomias de uma região de tensão ecológica no sul de Minas Gerais, a partir das seguintes hipóteses de nulidade:

(1) O padrão alométrico de *Copaifera*

langsdorffii não se distingue entre as fisionomias de Floresta Estacional Semidecídua Montana, Cerrado *sensu stricto*, Corredor ecológico natural em valo de divisa de propriedade e Cerrado Rupestre;

(2) A forma do fuste das árvores de *Copaifera langsdorffii* não varia entre os ambientes;

(3) A assimetria da copa da espécie *Copaifera langsdorffii* não é diferenciada entre as populações presentes nas fisionomias, gerando indivíduos com arquiteturas semelhantes.

(4) Não existem padrões na arquitetura e morfometria da espécie que evidenciem diferentes estratégias de crescimento populacional e plasticidade morfológica da espécie nas fisionomias.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização dos locais de estudo

As fisionomias da vegetação foram classificadas de acordo com Velloso et al. (1991), sendo que as formações de Cerrado foram distinguidas hierarquicamente pela classificação de Ribeiro e Walter (1998). Os locais pesquisados no trabalho foram classificados como: Floresta Estacional Semidecidual Montana, Cerrado *sensu stricto*, Corredor ecológico natural em valo de divisa de propriedade e Cerrado Rupestre (Rupestre). Mencionados doravante e respectivamente como Floresta, Cerrado, Corredor e Rupestre. A Figura 1 apresenta desenhos da espécie nas quatro fisionomias de vegetação estudadas.

A Floresta é uma reserva florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA); trata-se de um fragmento de 5,8 ha, localizado nas coordenadas 21°13'40"S de latitude e 44°57'50"W de longitude, à altitude de 925 m, em Lavras, sul de Minas Gerais (OLIVEIRA-FILHO et al., 1997). O fragmento possui uma densidade em torno de 965 indivíduos por hectare (HIGUSHI et al., 2008). A fisionomia é de uma floresta aberta, caracterizada por árvores emergentes do dossel (17-22 m), abaixo com uma extensão descontínua do dossel (10-15 m em altura) e um sub-bosque com sombra irregular (OLIVEIRA-FILHO et al., 1996). O solo predominante é o Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico de textura fina segundo a classificação da EMBRAPA (1999).

O Cerrado é uma reserva da UFLA que compreende uma área de 3,54 ha, localizada no *campus* da Universidade Federal de Lavras, sul de Minas Gerais, 21°13'35,48"S e 44°59'02,47"W, na microrregião do Alto Rio Grande, sub-bacia do Ribeirão Vermelho, a uma altitude aproximada de 900

m. O Cerrado é uma vegetação savânica composta por um estrato arbóreo-arbustivo e outro herbáceo-graminoso (EITEN, 1994). Ocorre sobre Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, bem drenados, distróficos, ácidos e álicos (JUNIOR e HARIDASAN 2005), no local de estudo predominam os Argissolos com horizonte B textural.

O Corredor é um exemplo de vegetação amplamente distribuída pelo sul de Minas Gerais, que se originou da colonização natural, por espécies vegetais dos valos de divisa de propriedade. Estes são escavações (largura média de 4 m e profundidade de 1,5 m) realizadas por escravos, por ocasião da

ocupação do território, no sudeste do Brasil. O corredor, deste estudo, faz divisa entre a UFLA e uma comunidade rural da cidade de Lavras, trata-se de uma vegetação com matriz antrópica com predomínio de pastagens, possui uma área de 0,24 ha e está localizado nas coordenadas 21°14'05"S e 44°58'28"W. A sua maior extensão (0,61 km) está disposta na paisagem no sentido L-W, com maior exposição das plantas à energia solar na sua face voltada para o Norte. Em função das atividades antrópicas produzirem biótopos peculiares (HOBBS et al., 2006), o corredor ecológico natural, de vegetação originada em um valo de divisa de propriedade, foi considerado uma

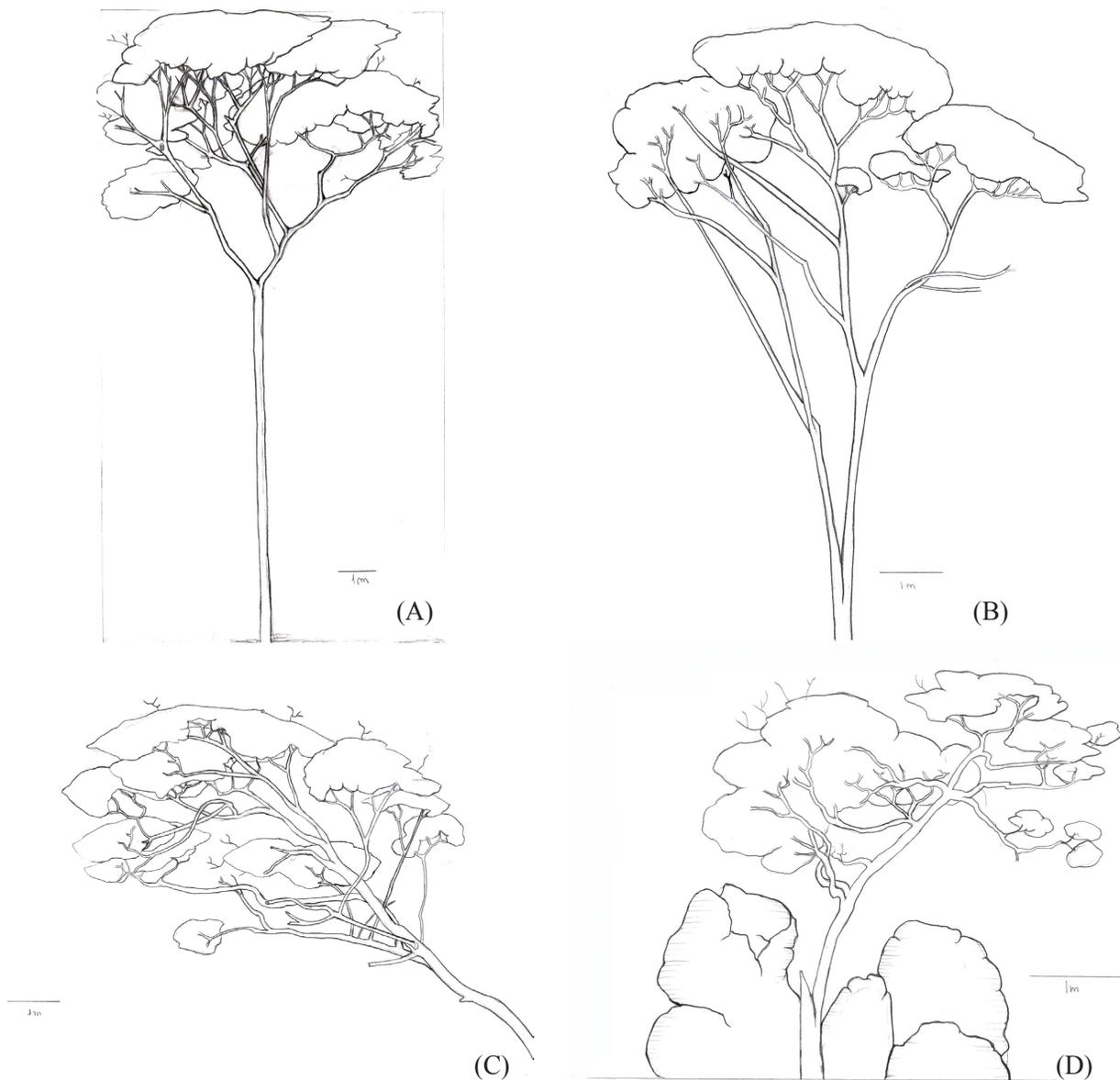


FIGURA 1: Ilustração dos indivíduos de *Copaifera langsdorffii* nas fisionomias de Floresta (A), Cerrado (B), Corredor (C) e Cerrado Rupestre (D).

FIGURE 1: Illustration of individuals of *Copaifera langsdorffii* physiognomies in the Forest (A), Cerrado (B), Corridor (C) and Rocky Cerrado (D).

fisionomia distinta, entretanto, ressalta-se que estes corredores estão inseridos em formações de Floresta Estacional Semidecidual Montana.

O Rupestre é um subtipo de vegetação arbóreo-arbustiva que ocorre em complexos rupestres de altitude. Possui cobertura arbórea variável de 5% a 20% da área, com altura média de dois a quatro metros, e camada arbustivo-herbácea destacada (RIBEIRO e WALTER, 1998). O local faz parte do complexo da Serra de Carrancas, Planalto Sul Mineiro, microrregião do Alto Rio Grade, possui coordenada de 21°37'S e 44°36'W e altitude de 1,350 m. As principais formações rochosas na região são xistos, quartzitos e gnaisses (DAYAN, 1996), enquanto que nas serras mais elevadas ocorrem cristas quartzíticas estendidas na direção SW-NE (MOREIRA e CAMELIER, 1977). Predominam na paisagem os Neossolos Litólicos, originados da decomposição de quartzitos, pobres em nutrientes, ácidos e com baixos teores de matéria orgânica. Estes locais são influenciados pela ocorrência de fogo, fator limitante que afeta a composição florística, a estrutura e a distribuição espacial desta vegetação (MOREIRA, 2000).

Características da espécie

Copaifera langsdorffii é uma espécie de hábito arbóreo que apresenta caráter semi-heliófito (CARVALHO, 2003). Pertence à família Leguminosae (Fabaceae), subfamília Caesalpinioideae; suas folhas são compostas paripinadas; filotaxia alterna-espiralada; folíolos elípticos ou oblongos, com ápices obtusos, retusos ou arredondados, bases obtusas e margens inteiras (MARTIUS et al., 1870). As sementes são pretas com arilo laranja, que atrai aves dispersoras; uma por fruto (PEDRONI et al., 2002). Todas as espécies do gênero possuem interesse econômico devido às propriedades medicinais de seu oleorresina (PLOWDEN, 2004). É anti-inflamatório e cicatrizante e produz verniz, tintura, laca e corante amarelo (RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2006). Planta com ampla plasticidade ecológica que ocorre tanto em solos ácidos pobres em nutrientes quanto em férteis e ricos em nutrientes, trata-se de uma espécie secundária a clímax (KAGEYAMA et al., 2003), longeva e distribui-se em várias formações, com destaque no Cerrado *sensu lato*, Caatinga e Florestas. Quando comparada à anatomia do lenho da espécie entre o Cerradão e a Floresta (MARCARTI et al., 2001) foram encontradas poucas diferenças significativas nas estruturas celulares, mas o diâmetro do vaso foi maior no Cerradão, indicando adaptações

morfológicas no lenho da espécie. A planta possui comportamento fenológico sazonal (FREITAS e OLIVEIRA, 2002) com perda parcial das folhas na estação seca (DIAS e OLIVEIRA-FILHO, 1996), apresenta dispersão zoocórica (PEDRONI, 1995) e seus padrões de frutificação são supra-anuais, com anos de produção intensa seguidos por anos sem frutificação, influenciados por fatores climáticos e interações com dispersores e predadores (PEDRONI et al., 2002). Estudos sobre a variabilidade genética revelaram maiores variações dentro de populações restritas a fragmentos e menor entre populações de fragmentos distintos e que o fluxo gênico ocorre em baixa amplitude (PINTO et al., 2004; CARVALHO e OLIVEIRA, 2004; MARTINS et al., 2008). A espécie é também recomendada para plantio com objetivo de restaurar ecossistemas (KAGEYAMA et al., 2003).

Coleta de dados e análises estatísticas

No período entre 15 de Setembro a 10 de Outubro de 2008, foi amostrado um total de 78 indivíduos da espécie *Copaifera langsdorffii*, sendo 24 na Floresta, 19 no Cerrado, 20 no Corredor e 15 no Rupestre. Percorreram-se as fitosionomias procurando evitar a amostragem de vários indivíduos num mesmo ponto, para que condições ecológicas particulares não mascarassem as características reais da espécie. De cada árvore, foram coletados seus seguintes valores: diâmetros à altura de 1 % (D1) e a 10 % da altura total (D10); altura total (Ht); altura dos primeiros ramos com folha da copa (Hc) e da primeira ramificação ontogenética do fuste (Hr). Em caso de rebrotas estas foram desconsideradas para a medição das duas alturas anteriores.

As variáveis da copa foram obtidas a partir da projeção no solo de quatro raios da copa e da distância do centro de gravidade da copa até o centro do tronco (D). A área da copa (Ac) foi mensurada a partir do produto entre o maior diâmetro da copa e sua medida perpendicular, considerando uma copa com formato elipsóide; a largura da copa (Lc) foi calculada a partir da média entre seus dois diâmetros; o grau de deflexão foi obtido pelo cálculo do arco tangente da razão entre D e Ht [$GD = \tan^{-1}(D/Ht)$] e o deslocamento da copa é a razão entre D e a raiz quadrada da Ac ($Dcp = D/\sqrt{Ac}$), de acordo com Young e Perkocha (1994).

A mensuração das alturas foi realizada com Hipsômetro de *Blume-Leiss*, com visadas na inserção da base das plantas no solo e no topo da copa, primeira ramificação ontogenética e ramificação com folhas; em caso de copas inclinadas, as alturas foram

corrigidas com o uso de D, de acordo com sugestão de Loestch et al. (1973), com o teorema de Pitágoras.

Em cada fisionomia foram realizadas regressões lineares simples entre os parâmetros Ht e D10, D10 e D1, Ac e D10, Ac e Ht, Gd e Dcp, logaritmicados, e uma regressão linear múltipla entre o D10 versus a razão entre a largura da copa e a altura total (Lc/Ht) e a Ht, procurando caracterizar o padrão de crescimento e a arquitetura da espécie em cada fisionomia com o uso de um modelo log-linear (NIKLAS, 1994a). As regressões estabelecidas entre as variáveis D10 e D1 serviram para avaliar se o grau de afilamento da espécie muda de acordo com a fisionomia (SIQUEIRA, 2006). As regressões entre as variáveis relacionadas ao grau de deflexão, em função do deslocamento relativo da copa, serviram para avaliar se a assimetria de copa da espécie muda de acordo com a fisionomia em que ela ocorre. As comparações entre as fitofisionomias foram realizadas a partir de interpretação biológica dos parâmetros das equações ajustadas e as curvas foram comparadas entre as fisionomias por análise de covariância (ANCOVA) na regressão (SOKAL e ROHLF, 1995; SOUSA, 1998).

Medidas morfométricas foram calculadas com base no modelo da árvore de Burger (1939) apud Durlo e Denardi (1998) e foram as seguintes: grau de esbeltez (GE), variável que caracteriza a estabilidade das árvores, ou seja, quanto mais alto o grau de esbeltez (Ht/D10) mais instável é a árvore às intempéries; o índice de saliência (IS) expressa quantas vezes a copa é maior que o diâmetro a 10% da altura e fornece o potencial de ocupação da planta (Lc/D10); o índice de abrangência (IA), que corresponde à razão entre a largura da copa e a altura total (Lc/Ht); e o formal da copa (FC), relação entre a largura da copa e sua profundidade [Lc/(Ht-Hr)], sendo que, quanto menor o formal da copa melhor é a produtividade da árvore.

Os valores de grau de deflexão da copa (GD) e a altura da primeira ramificação (Hr), assim como as variáveis morfométricas, foram comparados entre as fisionomias para analisar as pressões seletivas do ambiente sobre populações de *Copaifera langsdorffii*. Para isto foram analisadas as estimativas dos parâmetros por meio da análise de variância (ANOVA) com comparações múltiplas análogas ao teste de Tukey com sorteio e reamostragem do mesmo número de unidades amostrais (árvores) para criação dos intervalos de confiança (YEH e SINGH, 1997).

Foi realizada a contagem do número de

indivíduos nas fisionomias com orientação da copa voltada para NE, SE, SW ou NW de acordo com a rosa dos ventos e, foi comparada a existência de orientação preferencial em cada fisionomia, por meio do teste G de aderência, a fim de caracterizar estruturalmente as orientações das copas.

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para caracterização de grupos mais homogêneos que evidenciem a plasticidade morfológica da espécie e suas diferentes estratégias e investimento em recursos. Todas as variáveis bióticas coletadas e calculadas posteriormente foram inseridas na PCA. A partir de uma primeira ordenação foram escolhidas as variáveis com correlação maior ou igual a 0,4, com os eixos da PCA e realizada nova ordenação. Na matriz primária, foram utilizadas as variáveis Altura total (Ht), Largura de copa (Lc), diâmetro de tronco (D10), Grau de deflexão (Gd), Grau de esbeltez (GE) e Índice de saliência (IS). A mesma foi posicionada como matriz secundária no programa PC-ORD for Windows versão 4.14 (McCUNE e MEFFORD, 1999) para associar a ordenação das variáveis e a distribuição das plantas nos dois eixos da PCA a partir de interpretação posterior ao cálculo da ordenação da matriz primária. As variáveis significativas foram ordenadas em um gráfico com os dois eixos principais (Figura 4) para uma melhor interpretação de como elas se comportam em diferentes fisionomias.

RESULTADOS

De acordo com a Tabela 1 todas as regressões lineares foram significativas entre Ht e D10 ($P < 0,01$). Entretanto, a variação da altura total é explicada com mais precisão pelo diâmetro do tronco ($r^2 = 0,82$) na Floresta do que nas outras fisionomias, sendo o coeficiente de determinação corrigido ($r^2 = 0,30$) do Cerrado o de menor expressão. Os coeficientes das inclinações das regressões (β) entre altura total dos indivíduos e o diâmetro do tronco (D10) é semelhante entre a Floresta ($\beta = 0,698$) e o Rupestre ($\beta = 0,628$), no qual a Floresta (Figura 2A) é maior e mais evidente do que o Cerrado ($\beta = 0,359$) e o Corredor ($\beta = 0,431$), enquanto o Rupestre não se distingue dos demais.

Em relação às regressões estabelecidas entre as variáveis D10 e D1, o coeficiente de determinação corrigido (r^2) apresentou-se elevado e significativo em todas as fisionomias, com o valor mais baixo para o corredor ($r^2 = 0,88$) e mais alto para o Cerrado ($r^2 = 0,97$). As inclinações das curvas da regressão não se distinguiram de forma significativa entre as

TABELA 1: Coeficientes de regressão linear e intervalos de confiança a 95% de probabilidade para as inclinações das curvas. Onde: diâmetro do tronco a 10% da altura total (D10), altura total (Ht), diâmetro do tronco a 1% da altura total (D1), área da copa (Ac), grau de deflexão (GD), deslocamento da copa (Dcp), coeficiente de determinação ajustado (r^2) e número de unidades amostrais (N).

TABLE 1: Linear regression coefficients and confidence intervals at 95% probability for the slopes of the curves. Where: trunk diameter to 10% of the total height (D10), total height (Ht), trunk diameter to 1% of the total height (D1), crown area (Ac), degrees of deflection (GD), crown displacement (Dcp), coefficient of determination adjusted (r^2) and number of sample units (N).

Y	Intercepto (α)	Inclinação (β)	Intervalos de confiança (95%) da inclinação		r^2	N
			Mínimo	Máximo		
$\text{Log}_{10}(\text{Ht}) = \alpha + \beta \times \text{Log}_{10}(\text{D10})$						
Floresta	0,586 **	0,698 a***	0,67	0,73	0,82	24
Cerrado	1,219 **	0,372 b***	0,35	0,39	0,30	19
Corredor	1,100 ***	0,428 b***	0,41	0,45	0,58	20
Rupestre	-0,425 ns	0,628 ab**	0,59	0,67	0,54	15
$\text{Log}_{10}(\text{D10}) = \alpha + \beta \times \text{Log}_{10}(\text{D1})$						
Floresta	-0,570 *	1,132 a***	1,08	1,18	0,90	24
Cerrado	-0,430 **	1,101 a***	1,04	1,16	0,97	19
Corredor	-0,160 ns	0,978 a***	0,93	1,03	0,88	20
Rupestre	-0,133 ns	0,974 a***	0,91	1,04	0,93	15
$\text{Log}_{10}(\text{Ac}) = \alpha + \beta \times \text{Log}_{10}(\text{D10})$						
Floresta	0,421 ns	1,215 a***	1,16	1,27	0,65	24
Cerrado	0,212 ns	1,308 a,b***	1,24	1,38	0,82	19
Corredor	-0,145 ns	1,402 a,b***	1,33	1,47	0,86	20
Rupestre	-2,255 *	1,782 b***	1,66	1,90	0,60	15
$\text{Log}_{10}(\text{Ac}) = \alpha + \beta \times \text{Log}_{10}(\text{Ht})$						
Floresta	0,702 ns	1,250 a***	1,20	1,30	0,39	24
Cerrado	1,884 ns	0,916 a ¹	0,87	0,96	0,12	19
Corredor	-1,085 ns	2,166 b***	2,06	2,27	0,61	20
Rupestre	-0,443 ns	2,297 b***	2,14	2,45	0,70	15
$\text{GD} = \alpha + \beta \times \text{Dcp}$						
Floresta	1,781 ns	25,815 a***	20,35	31,28	0,48	24
Cerrado	3,651 **	23,365 a***	19,74	26,99	0,69	19
Corredor	2,686 ns	34,196 b***	29,70	38,69	0,75	20
Rupestre	12,199 **	25,492 a**	17,79	33,19	0,42	15

Em que: Valores da coluna da inclinação com a mesma letra não se distinguem de forma significativa (ANCOVA e teste T para amostras independentes). *** nível de significância de 0,001; ** = 0,01; * = 0,05; ¹ = 0,10. Values of the inclination of the column with the same letter do not differ significantly (ANCOVA and t test for independent samples). *** Significance level of 0.001, ** = 0.01, * = 0.05; ¹ = 0.10.

fisionomias (Figura 2C).

A relação entre a Área da copa (Ac) e o diâmetro do tronco (D10) foi positiva em todas as fisionomias (Figura 2 B). Os locais com maior precisão na explicação da largura da copa, em função do diâmetro do tronco, foram o Corredor ($r^2=0,86$) e o Cerrado ($r^2=0,82$), enquanto que as equações para

o Rupestre ($r^2=0,60$) e a Floresta ($r^2=0,65$) foram menos precisas. Os coeficientes de inclinação das regressões (β) obtiveram diferenças significativas entre a Floresta ($\beta=1,215$) e o Rupestre ($\beta=1,782$), já para o Corredor ($\beta=1,402$) e o Cerrado ($\beta=1,308$) não foram diferenciados estatisticamente das outras fisionomias (Tabela 1).

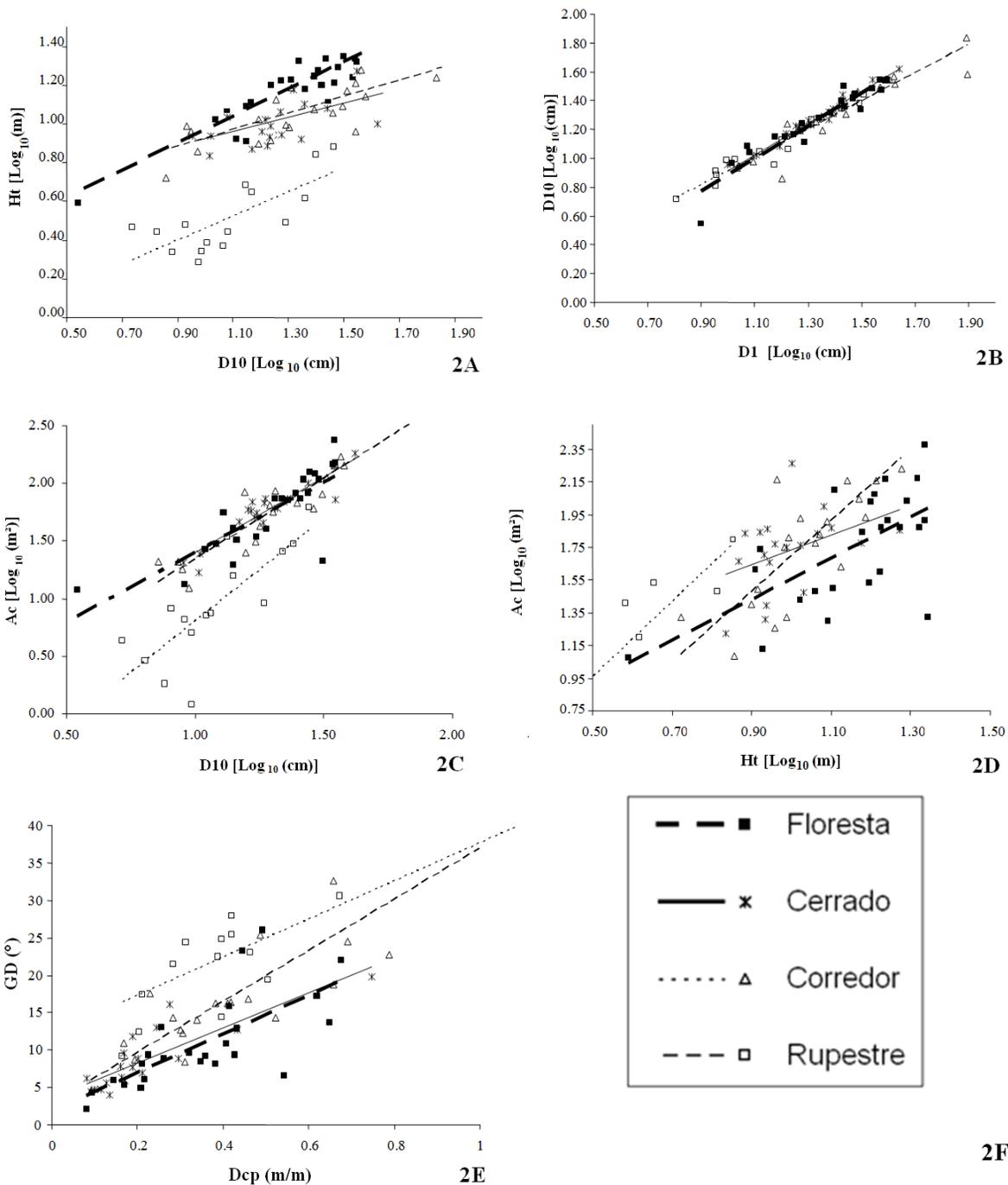


FIGURA 2: Curvas obtidas através de regressões lineares e valores observados entre Diâmetro do tronco (D10) e Altura Total (Ht) (2A), Diâmetro do tronco a 1% de Ht (D1) e Diâmetro do tronco a 10% de Ht (D10) (3B), Diâmetro do tronco (D10) e Área da Copa (Ac) (2C), Altura Total (Ht) e Área da Copa (Ac) (2D), Deslocamento da copa (Dcp) e Grau de deflexão (Gd) (2E), para a espécie *Copaifera langsdorffii* nas fitofisionomias estudadas. A Legenda das curvas e dos valores observados por fitofisionomias constam na legenda (2F).

FIGURE 2: Curves obtained from linear regressions between observed values and trunk diameter (D10) and total height (Ht) (2A), trunk diameter to 1% of Ht (D1) and trunk diameter to 10% of Ht (D10) (2B), trunk diameter (D10) and area of Crown (Ac) (2C), total height (Ht) and area of the crown (Ac) (2D) Displacement of the crown (Dcp) and the degree of deflection (Gd) (2E) for the species *Copaifera langsdorffii* studied in vegetation. The Legend of the curves and the observed values listed in the legend for vegetation (2F).

Quando a área da copa foi ajustada em relação à altura total, os locais com maior precisão de ajuste foi o Rupestre ($r^2=0,70$), seguido pelo Corredor ($r^2=0,61$), sendo os ajustes na Floresta ($r^2=0,39$) e no Cerrado ($r^2=0,12$), os menos acurados. Os coeficientes de inclinação das regressões (β) não se distinguiram entre a Floresta ($\beta=1,250$) e o Cerrado ($\beta=1,308$), entretanto ambos se diferenciaram do Corredor ($\beta=1,402$) e do Rupestre ($\beta=1,782$), também homogêneos entre si (Tabela 1).

O melhor ajuste da regressão entre as variáveis relacionadas à assimetria da copa, no caso o grau de deflexão (GD) em função do deslocamento da copa (Dcp), foi o do Corredor ($r^2 = 0,75$), onde os valores de deslocamento relativo menos explicaram o grau de deflexão foi no Rupestre ($r^2 = 0,42$). O coeficiente de inclinação das regressões do Corredor ($\beta = 34,196$), mais elevado (Figura 2 D), foi o único que se distinguiu das outras fisionomias.

A Tabela 2 apresenta os resultados da regressão múltipla entre o D10 e (Lc/Ht) e Ht. Os resultados indicaram que os parâmetros β_1 da inclinação da curva relacionada à largura da copa relativa à altura total (Lc/Ht) foram maiores do que zero de forma significativa em todas as fisionomias. Entretanto, no Corredor e no Cerrado as inclinações foram estatisticamente maiores do que na Floresta e no Rupestre. Porém, o coeficiente β_2 da inclinação da curva relacionada à altura total se diferenciou apenas no Rupestre, o qual foi inferior às demais fitofisionomias e estatisticamente distinto de 1,5. Modelo de similaridade elástica, que prevê uma relação entre altura e diâmetro suficiente para evitar sua quebra ou tombamento devido ao estresse causado pelo próprio peso, sendo mais próximo do

modelo de similaridade de estresse, causado para evitar quebras relacionadas ao vento (ALVES e SANTOS, 2002).

A Tabela 3 fornece os resultados da análise de variância (ANOVA), com *bootstrap*, para a avaliação das diferenças nos parâmetros morfométricos entre as fisionomias de vegetação. Tanto as variáveis arquiteturais (GD e HR) quanto as morfométricas (Ht/D10, IS, FC e IA) apresentaram diferenças significativas. Desse modo, evidencia-se a heterogeneidade nos padrões de forma da espécie entre as fitofisionomias.

A população inventariada no trecho de Floresta apresentou maior altura da primeira ramificação ($Hr = 6,85^a$), com diferenças estatísticas das outras três fisionomias. O grau de esbeltez (GE) foi distinguido em três grupos de acordo com o teste de Tukey (Q). Na Floresta a população apresentou o maior fator ($73,46^a$) e suas plantas foram mais suscetíveis às intempéries. No Cerrado ($57,07^b$) e Corredor ($53,57^b$) as plantas apresentaram comportamento intermediário e não se distinguiram entre si, enquanto que no Rupestre o fator foi o menor ($25,05^d$). O índice de saliência ($IS = Lc/D10$) que se diferenciou dos demais foi o das plantas da fisionomia Rupestre ($IS = 26,80^b$) e foi estatisticamente menor do que o das outras três fisionomias de vegetação. O índice de abrangência ($IA = Lc/Ht$) distinguiu entre a Floresta ($IA = 0,58^a$) e as outras três fisionomias, sendo que apenas no Rupestre que o IA foi maior do que um, ou seja, a árvore cresce mais a copa do que a altura com o aumento da área basal do tronco nesta fisionomia, mas não estatisticamente distinta do Cerrado ($IA = 0,79$) e do Corredor ($IA = 0,78$). O formal da copa

TABELA 2: Coeficientes de regressão linear múltipla da curva. Coeficiente de determinação ajustado (r^2), número de unidades amostrais (N).

TABLE 2: Coefficients of multiple linear regression curve. Coefficient of determination adjusted (r^2), number of sample units (N).

Y	Intercepto (α)	Inclinação (β_1)	Inclinação (β_2)	r^2	N
$\text{Log}_{10}(\text{D10}) = \alpha + \beta_1 \text{Log}_{10}(\text{Lc/Ht}) + \beta_2 \text{Log}_{10}(\text{Ht})$					
Floresta	-0,032	0,529 ^{a#}	1,370 ^a	0,91	24
Cerrado	-0,275	1,156 ^{b#}	1,527 ^a	0,87	19
Corredor	0,305	1,131 ^{b#}	1,301 ^a	0,86	20
Rupestre	1,557	0,674 ^{a#}	0,831 ^{b*}	0,65	15

Em que: O símbolo # indica valores significativos maiores do que 0 e símbolo * indica valores significativos diferentes de 1,5. Valores da coluna da inclinação com a mesma letra não se distinguem de forma significativa (ANCOVA e teste T para amostras independentes). The symbol # indicates values significantly greater than 0 and symbol * denotes values significantly different from 1.5. Values of the inclination of the column with the same letter do not differ significantly (ANCOVA and t test for independent samples).

TABELA 3: Resultados das estimativas dos parâmetros, média (X) e erro padrão (EP) e análise de comparações múltiplas com reamostragem (*bootstrap*) e teste de Tukey (Q) para as estimativas dos parâmetros de cada fisionomia: grau de deflexão da copa (Def), altura da primeira ramificação (H1°), grau de esbeltez (Ht/D10), índice de saliência (Lc/D10) e de abrangência (Lc/Ht), formal da copa (Lc/Pc), e porcentagem de copa (PC%).

TABLE 3: Results of estimates of the parameters, mean (X) and standard error (SE) and analysis of multiple comparisons with resampling (*bootstrap*) and Tukey's test (Q) for the estimated parameters of each physiognomies: degree of deflection of the crown (Def) when the first branch (H1 °), degree of slenderness (GD), projection index (Lc/D10) and scope index (Lk / Ht) in form of the crown (Lc / Pc), and percentage of canopy (PC %).

Fisionomias	Floresta			Cerrado			Corredor			Rupestre			<i>Bootstrap</i> (Pr>F)
	X	EP	Q	X	EP	Q	X	EP	Q	X	EP	Q	
GD	10,83	1,26	^a	8,69	0,98	^a	17,56	2,00	^b	23,24	2,21	^b	0,0001*
HR	6,86	0,71	^a	3,05	0,50	^b	3,29	0,28	^b	1,47	0,21	^b	0,0001*
GE	73,46	3,00	^a	57,07	4,00	^b	53,57	5,00	^b	25,05	1,00	^c	0,0001*
IS	41,50	3,33	^a	41,96	1,53	^a	38,82	2,27	^a	26,80	2,10	^b	0,0004*
FC	1,96	0,37	^a	1,68	0,25	^a	1,59	0,14	^a	2,22	0,19	^b	0,0010*
IA	0,58	0,04	^a	0,79	0,05	^b	0,79	0,05	^b	1,13	0,08	^b	0,0001*

Em que: Letras diferentes na mesma linha diferem as colunas entre si a um nível de significância de 0,05. * (significativo a 0,05); ns (não significativo). Different letters in the same row differ between the speakers themselves to a significance level of 0.05. * (Significant at 0.05), ns (not significant).

(FC = Lc/(Ht-Hc)) no Rupestre apresentou média superior (FC = 2,22^b), sendo sua copa mais achatada do que de todas as outras fisionomias (Cerrado, Floresta e Corredor), com copas delgadas.

Na Tabela 4 são apresentados os testes de aderência (G) para orientação da copa nas fisionomias. A Figura 3 ilustra o direcionamento do centro da copa das plantas e o grau de deflexão nas fisionomias. O teste indicou que a homogeneidade não foi aceita (G = 5,13) e sim a heterogeneidade (G = 18,88). Entretanto, em três destas, a Floresta (G = 1,69), o Cerrado (G = 0,57) e o Rupestre (G = 5,57), as orientações de copa não apresentaram padrão significativo. Porém, no Corredor, a maioria dos indivíduos possui orientação preferencial de copa ao sentido Noroeste (Figura 3C) devido à iluminação na matriz pastagem e projeção do sol no corredor.

Na Tabela 5 são apresentadas as estimativas das variâncias associadas aos autovalores significativos da análise de componentes principais (PCA). De acordo com os resultados foi possível reduzir a variabilidade dos dados para duas dimensões, com a acumulação de 77,42% da variação total nos dois primeiros componentes. Quando plotados os dados em um gráfico de ordenação em dois eixos foi possível separar as amostras (árvores) de acordo com a fitofisionomia em que ocorrem.

DISCUSSÃO

Devido à maior competição por luz e profundidade do solo, as plantas de *Copaifera langsdorffii* da Floresta investem mais no seu crescimento em altura, numa tentativa de dominar o dossel da comunidade. A presença de indivíduos mais altos em uma comunidade vegetal sugere um maior investimento no crescimento vertical como subterfúgio às condições adversas do meio (KING, 1990b; PORTELA e SANTOS, 2003; SIQUEIRA, 2006). No Rupestre, existe uma possível relação do crescimento em altura com “agentes modeladores naturais” que caracterizam a paisagem local, com a presença de rochas e pequenos sítios entre estas, onde *Copaifera langsdorffii* se estabelece. Essa condição altera a incidência de luz na copa das plantas durante seu desenvolvimento, tornando o Rupestre similar à Floresta quanto à disponibilidade de luz e orientando o crescimento vertical. Por outro lado, o Cerrado e o Corredor apresentaram menores relações de diâmetro com a altura quando comparados com a Floresta, devido à maior facilidade do topo de suas copas receber iluminação. Nessas duas fitofisionomias a espécie domina facilmente o dossel da comunidade vegetal.

TABELA 4: Resultados do teste de aderência (G) com o número de indivíduos por sentido de orientação da copa nas fitosionomias.

TABLE 4: Results of the adhesion test (G) with the number of individuals a sense of orientation of the crown in fitosionomias. Test of homogeneity (Ho).

Fisionomias	Sentidos da orientação das copas				G	(p)
	Nordeste	Sudeste	Sudoeste	Noroeste		
Floresta	7	5	4	8	1,6941	0,6382 ^{ns}
Cerrado	6	4	4	5	0,5667	0,904 ^{ns}
Corredor	2	1	4	13	16,1741	0,001*
Rupestre	6	5	3	1	5,5674	0,1347 ^{ns}
Ho	-	-	-	-	5,13	0,1628 ^{ns}
He	-	-	-	-	18,88	0,0263*

Em que: Teste de heterogeneidade (He); Valor calculado do teste (G); (p) – Significativo (*) ou não significativo (ns) a 0,05. Test of heterogeneity (He) value of the test (G) (p) - Significant (*) or not significativo (ns) to 0.05.

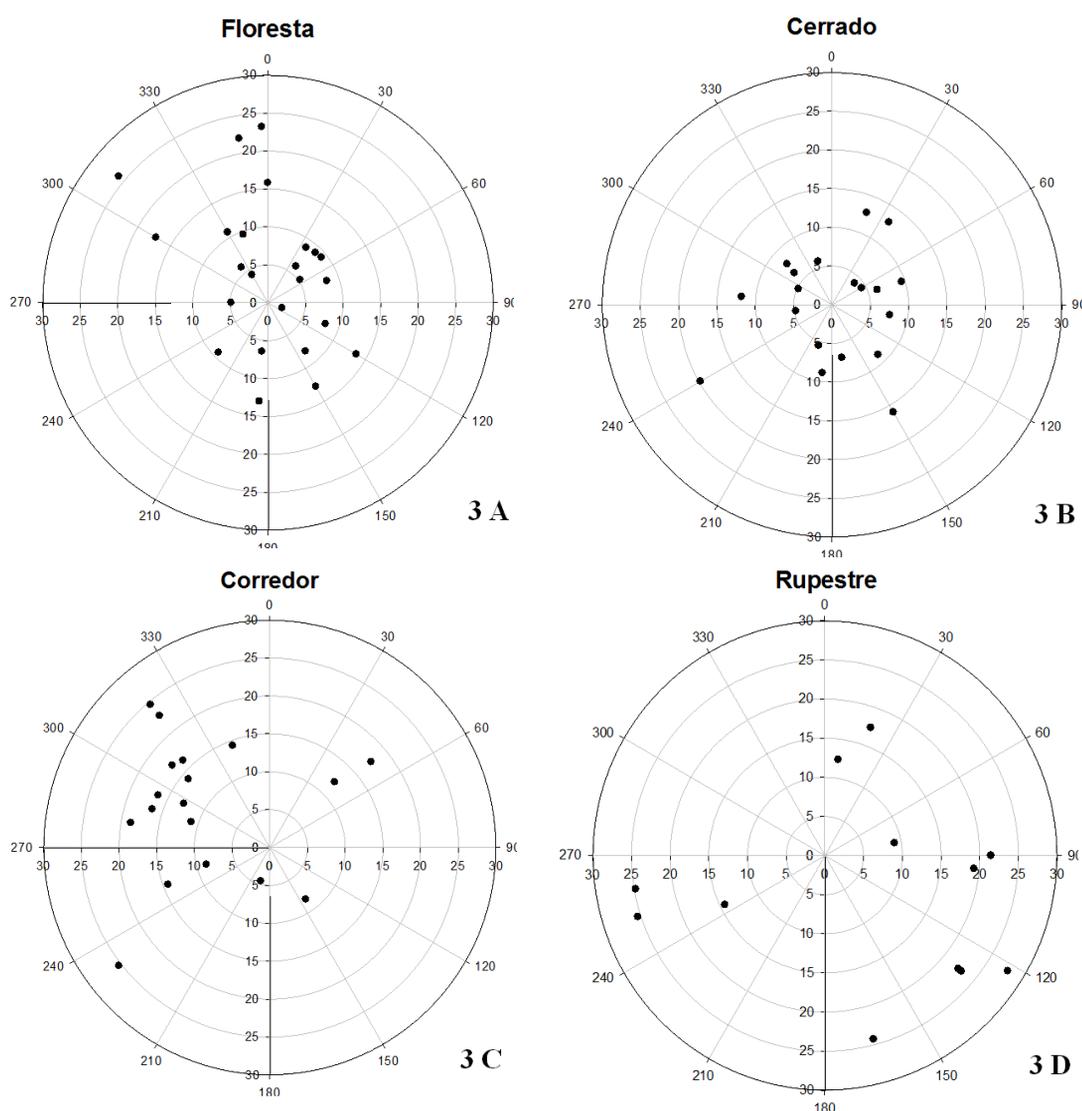


FIGURA 3: Gráficos de polaridade com o sentido da orientação (eixo angular) e o grau de deflexão (eixo radial) das copas nas fitofisionomias de Floresta (3A), Cerrado (3B), Corredor (3C) e Rupestre (3D).

FIGURE 3: Graphics of polarity with the direction of orientation (angular axis) and degree of deflection (radial axis) of the crown of forest vegetation (3A), Cerrado (3B), Corridor (3C) and Rocky Cerrado (3D).

TABELA 5: Estimativas das variâncias (autovalores, λ_j) associadas aos componentes principais e suas importâncias relativas e acumuladas. Teste P das aleatorizações dos autovalores.

TABLE 5: Estimates of the variances (eigenvalues, λ_j) associated with the principal components and their relative importance and accumulated.

Componentes Principais	Autovalor (λ_1)	Proporção da Variância (%)	Proporção Acumulada da Variância (%)	Valor-p
1	2,725	45,42	45,42	0,001*
2	1,92	32,003	77,42	0,001*

A altura da primeira ramificação (Hr) reflete uma correspondência ao primeiro período com maior possibilidade de desenvolvimento do indivíduo, com a redução de impactos como herbivoria ou fogo, momento em que a planta utiliza mais recursos e investe em cobertura de copa. Na Floresta as plantas de copaíba se desenvolvem investindo em altura para obter luz numa fração do estrato vertical e depois se ramificar e estabelecer sua copa, por isto suas ramificações são mais altas e tardias, de modo a contribuir para uma eficaz utilização futura da luz pela copa (STERCK e BONGERS, 2001; ALVES e SANTOS, 2002). A menor incidência de luz, em decorrência da maior densidade da vegetação arbórea na Floresta, aumentou a competição da copa por luz, favorecendo os galhos mais altos em detrimento dos mais baixos.

Nas fisionomias de Cerrado, Corredor e Rupestre a menor densidade da vegetação permitiu maior penetração de luz, viabilizando a existência de galhos vivos mais baixos. King (1990a) e Olusegun et al. (2007) ao pesquisarem a arquitetura da copa de plantas em diferentes estratos de Floresta Tropicais Úmidas, no Panamá e no Borneo, respectivamente, constataram que as espécies de estratos inferiores investem na ramificação horizontal e possuem orientações relacionadas à interceptação da luz no sub-bosque.

A forma do tronco, expressa pelo seu grau de afilamento, não variou entre os locais estudados, a relação entre os diâmetros do tronco em diferentes alturas foi isométrica. Sendo assim, apesar das diferenças intrínsecas das fisionomias, impostas por fatores bióticos e abióticos, os fustes das plantas da espécie permanecem com predominância de formas cilíndricas e os fatores citados não restringiram o seu desenvolvimento em distintas fisionomias.

Quanto às estratégias de crescimento das plantas entre os locais estudados, a população do Rupestre investiu no crescimento em largura da copa com o aumento do diâmetro do tronco (Tabela 1). As copas das plantas do Rupestre não são muito maiores do que o diâmetro do tronco, e o seu menor

índice de saliência (Tabela 3) se justifica pelo maior investimento em área basal para sustentá-las no ambiente. Nesse local, as plantas apresentaram proporções morfométricas, como copas delgadas, para adaptar-se em ambientes de altitude, com influência de ventos mais fortes (NIKLAS, 2000; CULLEN, 2002) que estimulam a sobrevivência de plantas com arquitetura que confere estabilidade mecânica (ABE e YAMADA, 2008). Essas variações intraespecíficas na alometria de plantas em distintas fisionomias relatam diferenciações nas suas populações em resposta à seleção imposta pelo ambiente.

Durante o desenvolvimento das plantas os ramos da copa acompanham a projeção do sol em um fenômeno denominado fotomorfogênese (NIKLAS, 1994b). A assimetria das plantas analisadas a partir do grau de deflexão nas fisionomias indicou que, na Floresta, as populações de *Copaifera langsdorffii* possuíram copas simétricas devido à maior competição e densidade de indivíduos periféricos em comparação com as outras fisionomias. No Cerrado, a iluminação em todas as direções tornou as copas simétricas, e pode conferir uma vantagem adaptativa com o recrutamento de plantas na projeção de sua copa. O sombreamento potencialmente diminui a dessecação do solo. Segundo Vieira e Gandolfi (2006) e Gandolfi et al. (2007), as árvores são filtros de biodiversidade, pois criam sítios específicos sob sua copa, em função da permeabilidade ou impermeabilidade. Cada espécie determina a composição e estrutura da comunidade de plantas sob a projeção de sua copa.

O Rupestre e o Corredor foram distintos das outras fisionomias devido a suas copas assimétricas, evidenciado pelo GD acima de 15° (Tabela 3). No Corredor, as copas das plantas se orientam com preferência ao sentido Noroeste e no Rupestre não existe preferência (Tabela 4, Figuras 3C e 3D). O sentido de maior exposição de luz no Corredor, devido à ausência de copas de outras plantas na borda, favoreceu o crescimento assimétrico dos indivíduos, e sua orientação de copa foi preferencial

à maior iluminação (Pasto a Noroeste).

A população colonizou o Corredor com densidade dos indivíduos mais jovens dependente do direcionamento da copa dos indivíduos estabelecidos, corroborando com a hipótese de Gandolfi et al. (2007), entretanto parece ocorrer um padrão de deslocamento dos regenerantes de acordo com a orientação da copa. Resende et al. (2003) sugerem que a dinâmica de crescimento é afetada por efeitos de densidade/dependência (JANZEN, 1980; SCHUPP, 1992) em *Copaifera langsdorffii* em áreas ciliares, fisionomia que apresenta disposição da vegetação análoga aos valos, com comprimento maior paralelo e largura menor perpendicular ao rio.

No Rupestre, os indivíduos estão distribuídos em associação a frestas, comissuras e depressões das rochas, ocupando os espaços mais protegidos de fogo, com acúmulo de água e sedimentos que formam um substrato necessário ao desenvolvimento das plantas de hábito arbóreo (OLIVEIRA-FILHO e MARTINS, 1986). Sendo assim, as orientações do deslocamento das copas não obtiveram um sentido predominante, pois variavam de acordo com a disposição da planta em relação às fendas entre rochas. O estabelecimento dos indivíduos é relacionado à probabilidade de dispersão de propágulos para biótopos específicos. A assimetria dos indivíduos no Rupestre está relacionada com o período de colonização inicial, quando as copas das plântulas se orientam em direção ao local de maior iluminação, oposto a posição das rochas. No momento em que o topo da copa ultrapassa a altura da rocha, o crescimento da planta passa a ser simétrico, pois encontra condições de luminosidade mais homogênea em sua periferia, o que explica uma relação entre diâmetro e altura semelhante a da Floresta. Sua arquitetura assimétrica trata-se de adaptação relacionada a plasticidade fenotípica da planta, obtendo vantagens para o estabelecimento em certos locais (YAMADA et al., 2000).

De acordo com a PCA os dados do Rupestre se separaram dos dados da Floresta devido ao maior grau de deflexão das plantas e ao menor investimento em altura e largura de copa. No outro extremo, separado a partir do eixo 1 do Rupestre, a Floresta apresentou plantas com correlação positiva com a altura total e a largura da copa (Figura 4). O Cerrado e o Corredor formaram um gradiente entre as outras duas fisionomias e, em relação ao eixo 2, os mesmos se separaram, devido ao maior grau de esbeltez e índice de saliência das plantas do Cerrado do que no Corredor. O menor grau de esbeltez do Corredor

ocorreu devido à assimetria da copa das árvores, que submeteu as plantas a um maior investimento em área basal para aumentar sua estabilidade mecânica em relação ao peso da copa (ALMÉRAS et al., 2005).

As plantas de *Copaifera langsdorffii* apresentaram padrões alométricos representativos das características da fisionomia da vegetação em que se encontram. O principal fator limitante para a representação destes padrões, nas populações existentes nas diferentes fitofisionomias, foi a interceptação de luz pela copa dos indivíduos durante sua história de vida. Entretanto, a presença de ventos fortes devido à altitude, e a ocorrência de fogo, provavelmente influenciaram os padrões alométricos das plantas do componente arbóreo no Rupestre.

CONCLUSÕES

O padrão alométrico de *Copaifera langsdorffii* se distinguiu entre as fisionomias, principalmente para os parâmetros altura total em relação ao diâmetro do tronco, onde a Floresta foi diferenciada do Corredor e do Cerrado, e o Rupestre não se distinguiu das demais fisionomias. Para área da copa em relação ao diâmetro do tronco, a Floresta investiu menos no crescimento horizontal da copa do que o Rupestre, já para o Cerrado e o Corredor não se diferenciaram das demais fisionomias. Quando a área da copa foi relacionada com a altura total, o Corredor e o Rupestre apresentaram maior investimento em crescimento horizontal da copa do que a Floresta e o Cerrado.

A forma do fuste das árvores de *Copaifera langsdorffii*, expressa pela relação entre diâmetros do tronco em diferentes alturas da árvore, não variou entre os ambientes, indicando que apesar de fatores ambientais específicos em cada fisionomia, os formatos do tronco apresentaram proporções semelhantes.

A assimetria da copa da espécie *Copaifera langsdorffii* foi diferenciada entre as populações presentes nas fisionomias, gerando indivíduos com arquiteturas distintas. As plantas do Corredor e do Rupestre apresentaram copas mais assimétricas do que as da Floresta e do Cerrado.

Foram diagnosticados padrões na arquitetura e morfometria da espécie que evidenciaram diferentes estratégias de crescimento populacional e plasticidade morfológica da espécie nas fisionomias. A fisionomia de Floresta apresentou maiores valores

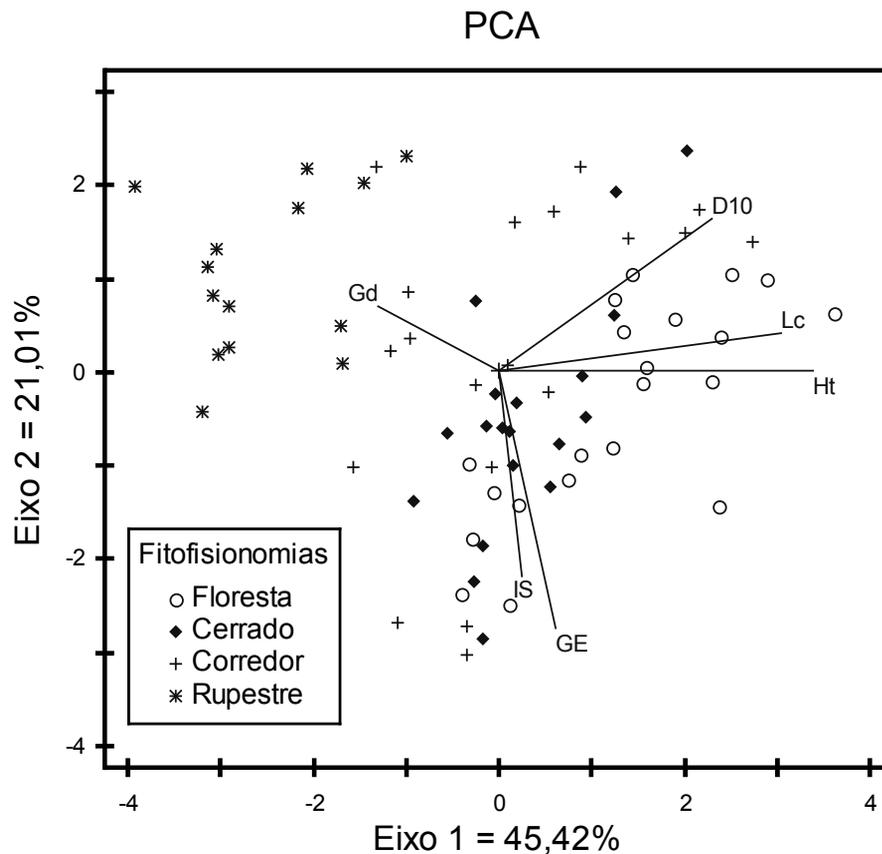


FIGURA 4: Análise de componentes principais (PCA) com variáveis dendrométricas Altura total (Ht); Diâmetro do tronco a uma altura de 10% da altura total (D10); Largura da copa (LC), morfométricas Grau de esbeltez (GE); Índice de Saliência (IS); e arquitetural Grau de deflexão da copa (Gd) das plantas nas fitofisionomias amostradas (Rupestre; Floresta; Cerrado; Corredor).

FIGURE 4: Principal component analysis with variable dendrometric total height (Ht); Diameter of the trunk at a height of 10% of total height (D10); Width of Crown (LC), morphometric degrees of slenderness (GE); Salient Index (IS); and architectural degree of deflection of the crown (GD) plants in vegetation samples (Rock Cerrado; Forest; Cerrado; Corridor).

de altura total, largura de copa e diâmetro do tronco, e a fisionomia do Rupestre, valores mais elevados de grau de deflexão da copa (assimetria), enquanto o Cerrado e o Corredor formaram uma transição entre Floresta e Rupestre, evidenciada pelo gradiente de feições morfológicas da espécie.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a Universidade Federal de Lavras pelo suporte estrutural da pesquisa, ao CNPQ pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor, a Ana Carolina Campos pelo auxílio na elaboração do *abstract* e aos amigo(a)s Vitor Torga Lombardi e Carolina Njaime Mendes, responsáveis pelas ilustrações (desenhos esquemáticos) da espécie no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABE, N.; YAMADA, T. Variation in allometry and tree architecture among *Symplocos* species in a Japanese warm-temperate forest. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v. 121, n. 2, p. 155–162, May 2008.
- ALVES, L. F.; SANTOS, F. A. M. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, SE Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 18, n. 2, p. 245-260, May 2002.
- AIBA, S. I.; TAKASHI, K. Crown Architecture and Life-History Traits of 14 Tree Species in a Warm-Temperate Rain. **The Journal of Ecology**, Cambridge, v. 85, n. 5, p. 611-624, Oct. 1997.
- ALMÉRAS, T.; THIBAUT, A.; GRIL, J. Effect of circumferential heterogeneity of wood maturation

- strain, modulus of elasticity and radial growth on the regulation of stem orientation in trees. **Trees**, Berlim, v. 19, n. 4, p. 457-467, June 2005.
- ANDRADE, V. C. L. et al. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmento de mata atlântica. **Scientia Forestalis** (IPEF), Piracicaba, v. 70, p. 31-37, abr. 2006.
- ARCHIBALD, S.; BOND, W. J. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. **Oikos**, Copenhagen, v. 102, n. 1, p. 3-14, July 2003.
- BORMAN F. H.; LIKENS, G. E. **Pattern and Process in a Forested Ecosystem**. New York: Springer-Verlag New York Inc. 1994. 253 p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; Colombo: EMBRAPA Florestas. 2003. 1039 p.
- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 13-23, jan./abr. 2006.
- CRAWLEY, M. J. Life History and Environment. In: CRAWLEY, M. J. (Org.). **Plant Ecology** – 2nd ed. Oxford: Blackwell Science, 1997. p. 75-131.
- CULLEN, S. Trees and Wind: Wind Scales and Speeds. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 28, n. 5, p. 237- 242, Sept. 2002.
- DAYAN, H. Geologia e estrutura de Carrancas e arredores, sudeste de Minas Gerais. In: AMATO, M. (ed.). **A freguesia de Nossa Senhora das Carrancas e sua história**. São Paulo: Ed. Loyola, 1996. p. 141-154.
- DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Fenologia de quatro espécies arbóreas de uma floresta estacional semidecídua montana em Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 66-88, jan./jun. 1996.
- DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em Mata Secundária Nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, nov. 1998.
- EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Ed. da UnB, 1994. p. 17-75.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: EMBRAPA. 1999. 412 p.
- FINGER, C. A. G. et al. Curvas de altura-diâmetro de acácia negra, *Acacia mearnsii* De Wild.. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 3, p.387-391, maio/jun. 2000.
- FONTES, M. A. L. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 79-87, jun. 2000.
- FREITAS, C. V.; OLIVEIRA, P. E. Biologia reprodutiva de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 311-321, set. 2002.
- GANDOLFI, S.; JOLY, C. A.; RODRIGUES, R. R. Permeability - Impermeability: Canopy Trees as Biodiversity Filters. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 433-438, July/Aug. 2007.
- GAYON, J. History of the Concept of Allometry. **American Zoologist**, Oxford, v. 40, n. 5, p. 748-758, Oct. 2000.
- GRACE, J. Towards Models of Resource Allocation by Plants. In: BAZZAZ, F. A.; GRACE, J. (Ed.) **Plant Resource Allocation**. São Diego: Academic Press, 1997. p. 279-289.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests: an architectural analysis**. Heidelberg: Springer-Verlag Berlim. 1978. 441 p.
- HIGUCHI, P. et al. Spatio-temporal patterns of tree community dynamics in a tropical forest fragment in South-east Brazil. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 199, n. 1, p. 125-135, Nov. 2008.
- HOBBS, J. H. et al. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. **Global Ecology and Biogeography**, v. 15, n. 1, p. 1-7, Jan. 2006.
- JANSEN, Daniel H. **Ecologia vegetal nos trópicos**. São Paulo: E.P.U.; EDUSP, 1980 79 p.
- JUNIOR, B. H. M.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 913-926, dez. 2005.
- KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; GANDARA, F. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. 340 p.
- KING, D. A. Allometry of saplings and understorey trees of Panamanian forest. **Functional Ecology**, Oxford, v. 4, n. 1, p.27-32, Jan. 1990a.
- KING, D. A. The Adaptive Significance of Tree Height. **The American Naturalist**, Chicago, v. 135, n. 6, p. 809-828, June 1990b.
- KING, D. A. Allometry and life story of tropical trees. **Journal of tropical Ecology**, Cambridge, v. 12, n. 1, p. 25-44, Jan. 1996.
- KOHYAMA, T. Significance of architecture and

- allometry in sapling. **Functional Ecology**, Oxford, v. 1, n. 4, p. 399-404, Jan./Dec. 1987.
- LABORIAU, L. G. Revisão da situação da ecologia vegetal nos cerrados. In: **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, 1966. v. 38 (suplemento), p. 5-38.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. 2nd ed. Munchen: BLV. 1973. 479 p.
- MACHADO, S. A. et al. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 1, p. 5-16, jan./jun. 2008.
- MACHADO, S. A. et al. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliottii* no Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 5-12, jan./jun. 1994.
- McCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **PC-ORD version 4.0, multivariate analysis of ecological data, Users guide**. Glaneden Beach: MjM Software Design. 1999. 131 p.
- McMAHON, T. Size and shape in biology. **Science**, San Diego, v. 179, n. 79, p. 1201-1204, Mar. 1973.
- MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 311-320, set./dez. 2001.
- MARTIUS, C. F. P.; EICHLER, A. W.; URBAN, I. **Flora Brasiliensis** v. 15, pt. 2, p. 240-244, Tab. 63, 1870. Disponível em : <<http://florabrasiliensis.cria.org.br/fviewer>>. Acesso em: 20 mar. 2009.
- MARTINS, K. et. al. Estrutura genética populacional de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae - Caesalpinoideae) em fragmentos florestais do Pontal do Paranapanema, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 61-69, jan./abr. 2008.
- MOREIRA, A. A. N.; CAMELIER, C. Relevô. In: **Geografia do Brasil. Região Sudeste**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. v. 3, p. 1-50.
- MOREIRA, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in central Brazil. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 27, n. 4, p. 1021-1029, July 2000.
- NIKLAS, K. J. **Plant Biomechanics** – An Engineering Approach to Plant Form and Function. Chicago: The University of Chicago Press. 1992. 630 p.
- NIKLAS, K. J. **Plant allometry** - the scaling of form and process. Chicago: The University of Chicago Press. 1994a. 395 p.
- NIKLAS, K. J. Morphological evolution through complex domains of fitness. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, Palo Alto, v. 91, n. 15, p. 6772-6779, July 1994b.
- NIKLAS, K. J. Size-dependent Allometry of Tree Height, Diameter and Trunk-taper. **Annals of Botany**, Ithaca, v. 75, n. 3, p. 217-227, Sept. 1995.
- NIKLAS, K. J. Computing factors of safety against wind-induced tree stem damage. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 345, p. 797-806, Apr. 2000.
- NIKLAS, K. J. Plant allometry: is there a grand unifying theory? **Biological reviews**, Cambridge, v. 79, n. 4, p. 871-889, Apr. 2004.
- NIKLAS, K. J.; SPATZ, H. C. Growth and hydraulic (not mechanical) constraints govern the scaling of tree height and mass. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, Palo Alto, v. 101, n. 44, p. 15661-15663, Nov. 2004.
- O'BRIEN, S. T. et al. Diameter, height, crown, and age relationships in eight neotropical tree species. **Ecology**, Ithaca, v. 76, n. 6, p. 1926-1939, Sept. 1995.
- OLDEMAN, R. A. A. **Forests: Elements of Silvology**. Berlim: Springer-Verlag. 1990. 565 p.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; MARTINS, F. R. Distribuição, caracterização e composição florística das formações vegetais da região da Salgadeira, na Chapada do Guimarães (MT). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 207-223, jul./dez. 1986.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CAMISAO-NETO, A.; VOLPATO, M. M. L. Structure and Dispersion of Four Tree Populations in na Área of Montane Semideciduous Forest in Southeastern Brazil. **Biotropica**, Marburg, v. 28, n. 4, p. 762-769, Dec. 1996.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN-FILHO. Ecologia da Vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 51-64, jul./dez. 1999.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forest in South-eastern Brazil, and influence of climate. **Biotropica**, Marburg, v. 32, n. 4, p. 139-158, Mar. 2000.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R.J. (eds.). **The cerrados of Brazil. Ecology and natural history of a Neotropical savanna**. New

- York: Columbia University Press, 2002. Cap. 6, p. 91-120.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T. et al. Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 291-309, maio/ago. 2004.
- OLUSEGUN, O. O. et al. Comparative Height-Crown Allometry and mechanical Design in 22 Species of Kuala Belalong Rainforest, Brunei, Borneo. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 94, n. 12, p. 1951-1962, Oct./Dez. 2007.
- PEARCY, R. W.; MURAOKA, K.; VALLADARES, F. Crown architecture in sun and shade environments: assessing function and trade-offs with a three-dimensional simulation model. **New Phytologist**, Lancaster, v. 166, n. 3, p. 791-800, June 2005.
- PEDRONI, F. Ecologia da copaíba. In: LEITÃO-FILHO, H. F.; MORELLATO, L. P. C. (Eds.) **Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana**: Reserva de Santa Genebra. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1995. p.70-76.
- PEDRONI, F.; SANCHEZ, M.; SANTOS, F. A. M. Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf. – Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 183-194, jul./dez. 2002.
- PERRETA, M. G.; VEGETTI, A. C. Patrones estructurales en las plantas vasculares: una revisión. **Gayana Botânica**, Concepción, v. 62, n. 1, p. 09-19, Jan./Mar. 2005.
- PINTO, S. I. C.; SOUZA, A. M.; CARVALHO, D. Variabilidade genética por isoenzimas em populações de *Copaifera langsdorffii* Desf. em dois fragmentos de mata ciliar. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 40-48, jun. 2004.
- PLOWDEN, C. The ethnobotany of copaíba (*Copaifera*) in the Amazon. **Economic Botany**, New York, v. 58, n. 4, p. 729-733, Dec. 2004.
- POORTER, L.; BONGERS, L.; BONGERS, F. Architecture of 54 Moist-Forest Tree Species: Traits, Trade-offs, and functional groups. **Ecology**, Washington, v. 87, n. 5, p. 1289-1301, May 2006.
- PORTELA, R. C. Q.; SANTOS, F. A. M. Alometria de Plântulas e jovens de espécies arbóreas: copa x altura. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 1-5, jul. 2003.
- RESENDE, J. C. F.; KLINK, C. A.; SCHIAVINI, I. Spatial Heterogeneity and its Influence on *Copaifera langsdorffii* Desf. (Caesalpinaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 46, n. 3, p. 405-414, June 2003.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa, 1998. p. 89-166.
- RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C.; WADT, P. G. S.; WADT, L. H. O. Potencial de produção de óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp) de populações naturais do sudoeste da Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, jul./ago. 2006.
- RIZZINI, C. T., **Tratado de fitogeografia do Brasil**. Aspectos sociológicos e florísticos. São Paulo: HUCITEC/EDUSP, 1979. 374 p.
- SCHUPP, E. W. The Janzen-Connell Model for Tropical Tree Diversity: Population Implications and the Importance of Spatial Scale. **The American Naturalist**, Chicago, v. 140, n. 3, p. 526-530, Sept. 1992.
- SILVA, G. F. et al. Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 685-694, jul./ago. 2007.
- SIQUEIRA, A. S. Alometria de *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) em diferentes fitofisionomias do Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, GO. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 6, n. 3, set. 2006.
- SOARES, T. S. et al. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 845-854, nov./dez. 2004.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry**: the principles and practice of statistics in biological research. New York: W. H. Freeman, 1995. 850 p.
- SOUSA, G. S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-SEA, 1998. 505 p.
- SPOSITO, T. C.; SANTOS, F. A. M. Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. **American Journal of Botany**, Chicago, v. 88, n. 5, p. 939-949, Oct. 2001a.
- SPOSITO, T. C.; SANTOS, F. A. M. Architectural patterns of eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. **Flora** (Jena), München, v. 196, n. 3, p. 215-226, May 2001b.
- STERCK, F. J.; BONGERS, F. Ontogenetic changes in size, allometry, and mechanical design of tropical rain forest trees. **American Journal of Botany**, Chicago, v. 85, n. 266, p. 266-272, Feb. 1998.
- STERCK, F. J.; BONGERS, F. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height

- and light availability. **Journal of Ecology**, London v. 89, n. 1, p. 1-13, Feb. 2001.
- VELLOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124 p.
- VIEIRA, S. A. et al. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 21-29, abr. 2008.
- VIEIRA, D. C. M.; GANDOLFI, S. Chuva de sementes e regeneração natural sob três espécies arbóreas em uma floresta em processo de restauração. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 541-554, out./dec. 2006.
- YAMADA, T.; YAMAKURA, T.; LEE, H. S. Architectural and allometric differences among *Scaphium* species are related to microhabitat preferences. **Functional Ecology**, Oxford, v. 14, n. 6, p. 731-737, Dec. 2000.
- YEH A. B.; SINGH K. Balanced Confidence Regions Based on Tukey's Depth and the Bootstrap. **Journal of the Royal Statistical Society B**, London, v. 59, n.3, p. 639-652, July/Aug. 1997.
- YOUNG, T. P.; PERKOCCHA, V. Treefalls, Crown Asymmetry, and Buttresses. **The Journal of Ecology**, Cambridge, v. 82, n. 2, p. 319-324, June 1994.
- ZANON, M. L. B. et al. Funções para descrever a relação altura diâmetro de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 87-90, jan./abr. 1996.