



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**ALOMETRIA DE UMA ESPÉCIE DE PLANTA NATIVA DO
CERRADO: *OURATEA HEXASPERMA* (St.Hil) Bail (OCHNACEAE)**

BRENO BARBOZA DA SILVA

ORIENTADORA: DULCE MARIA SUCENA DA ROCHA

**CO-ORIENTADORES: ANTÔNIO LUIZ DE MELO E PAULO EDUARDO DE
BRITO**

Planaltina – DF, 2017



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**ALOMETRIA DE UMA ESPÉCIE DE PLANTA NATIVA DO
CERRADO: *OURATEA HEXASPERMA* (St.Hil) Bail (OCHNACEAE)**

BRENO BARBOZA DA SILVA

ORIENTADORA: DULCE MARIA SUCENA DA ROCHA

**CO-ORIENTADORES: ANTÔNIO LUIZ DE MELO E PAULO EDUARDO DE
BRITO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Licenciado do Curso de Ciências Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob a orientação de Dulce Maria Sucena da Rocha.

Planaltina – DF, 2017

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Dulce Maria Sucena da Rocha, por toda sua dedicação, compreensão e ensinamentos durante o desenvolvimento dessa pesquisa;

Aos meus co-orientadores Antônio Luiz de Melo e Paulo Eduardo de Brito pelo interesse, contribuição e discussão neste trabalho, a esse último agradeço ainda por sua tutoria acolhedora durante sua passagem no Programa de Educação Tutorial de Ciências Naturais do qual sou integrante;

À Professora Jeane Cristina Gomes Rotta pela orientação durante a disciplina de TCC2;

À Luciana Mota por sua contribuição durante as manhãs de coletas de dados no campo que foram imprescindíveis para a realização desse trabalho;

À minha família, meus pais Francisco Antônio Barboza e Maria Claudete Roque da Silva, aos meus irmãos Bruno Barboza, Luana Barboza e Fábio Renan pelo apoio durante toda a graduação;

À pesquisadora Arminda Moreira de Carvalho pela oportunidade de estágio na EMBRAPA Cerrados que contribuiu na minha trajetória acadêmica, assim como aos amigos que lá conheci Cristiane Lira Santana, Douglas Lino e Thais Rodrigues;

Aos meus amigos da Universidade de Brasília, Jéssica Borges, Cristiano Ferreira, Camila Nóbrega, Juliana Marques, Rafaela Amanda Monte, Daniela Rodrigues, Jussara Carvalho, Lucas Gonçalves, Kamila Ferreira, Jordana Reis e Jamily Silva;

À minha professora de história Rosária Rosa do Santos Ramos, por sempre ter me incentivado a ingressar em um curso de nível superior;

À Universidade de Brasília, e a todos que tem apreço por mim e me ajudaram diretamente ou indiretamente;

Às energias do Universo que me governam, me guiam e me protegem.

**ALOMETRIA DE UMA ESPÉCIE DE PLANTA NATIVA DO CERRADO: *OURATEA
HEXASPERMA* (ST. HILL) BAIL (OCHNACEAE)**

RESUMO:

O Cerrado brasileiro sentido restrito apresenta árvores retorcidas, inclinadas e tortuosas. Diante das peculiaridades da arquitetura dessas árvores este trabalho teve como objetivo analisar se a regra de Da Vinci pode ser aplicada à espécie *Ouratea hexasperma* (St.Hil) Bail (Ochnaceae). Foram tomadas as medidas do perímetro do tronco e ramos, até o terceiro nível de ramificação, de 30 árvores. Os resultados mostraram que quando se considera a soma total das áreas de todas as ramificações, por nível de altura, há um crescimento linear. O mesmo resultado é obtido quando a arquitetura da árvore é decomposta em módulos. Em ambos os tipos de análises, a soma das áreas aumenta embora a diferença entre os níveis diminua, e tenta a estabilizar, nunca chegando a zero. Em ambos os casos, os resultados tendem a recuperar a forma tridimensional simplificada das árvores, similar a de uma secção de cone invertido. Desta forma, a lei de Da Vinci não se aplica à arquitetura da espécie *Ouratea hexasperma*.

Palavras-chaves: Regra de Da Vinci; Conservação da área; Arquitetura de planta.

ABSTRACT:

Brazilian Cerrado *strict sensu* trees architecture presents crooked trunks and branches. In view of the peculiarities of these trees architecture, the objective of this work was to analyze whether the Da Vinci's rule can be applied to the species *Ouratea hexasperma* (St.Hil) Bail (Ochnaceae). We measured trunks and shoots perimeter, up to the third level of branching, of 30 trees. The results showed that the sum of the areas of all the branches, by level of height, increases linearly. The same result was obtained when the tree architecture is decomposed into modules. In both analyzes, the sum of areas increases even though the difference between levels decreases and stabilizes, though never reaching zero. In both cases, the results seem to recover the simplified three-dimensional shape of the trees, similar to that of an inverted cone section. In conclusion, Da Vinci's law does not apply to the architecture of the species *Ouratea hexasperma*.

Key-words: Da Vinci's rule; Cross-sectional area conservation; Plant architecture.

1. INTRODUÇÃO:

Os padrões de crescimento de plantas e árvores sugerem regras subjacentes e, portanto, leis naturais que determinam o crescimento das plantas. Artistas e cientistas ponderaram esses mistérios desde o florescimento do pensamento renascentista e várias tentativas foram feitas para explicar as proporções que governam as formas dos seres vivos, incluindo árvores. Essas tentativas incluíram grandes pensadores como Leonardo Da Vinci (e seu modelo de tubulações e preservação de área) e Goethe (e seu conceito de “memória” das plantas) (Fay 2011). Relações de tamanho e forma dos seres vivos são chamadas de relações alométricas.

Alometria, de uma forma mais geral, descreve as mudanças relativas na dimensão de partes de um organismo que estão correlacionadas com as mudanças no tamanho total (Gayon 2000). Também pode ser compreendida como as diferenças de proporções correlacionadas a mudanças de magnitude absoluta do organismo como um todo ou de partes específicas (Gould 1966).

O tamanho dos corpos dos organismos é um dos fatores importantes para a compreensão do metabolismo e das características estruturais, funcionais e ecológicas dos mesmos. A variação de tamanho entre seres vivos chega a 21 ordens de magnitude. As plantas vasculares apresentam variação de tamanho de 12 ordens, desde a lentilha d'água (*Lemna* – 1-5mm comprimento) até as sequoias (115m altura). Apesar desta amplitude de variação, todos os organismos, de micróbios a baleias, obedecem a uma série de leis de escala, extraordinariamente simples, que prescrevem como as características biológicas variam com o tamanho. Essas relações de escalam se aplicam a quantidades fundamentais tais como taxa metabólica, expectativa de vida e tamanho e forma de componentes do corpo de organismos. Essa variação pode ser caracterizada por uma equação alométrica: $Y = Y_0 M^b$, onde Y é uma variável dependente, Y_0 é uma constante normalizada, M é alguma variável independente (normalmente a massa) e b é o expoente de escala (Brown et al. 2000; West et al 2000).

Leonardo Da Vinci observando a arquitetura de árvores sugeriu que a soma das áreas totais da secção transversal de todos os ramos em qualquer altura de uma árvore é igual à da área do ramo do nível imediatamente abaixo de onde aqueles ramos divergem:

All the branches of trees at every stage of their height, united together, are equal to the thickness of their trunk. (Da Vinci 1955)

Ou ainda, a área transversal da ramificação abaixo de um determinado ramo é igual à soma da área transversal dos ramos filhos acima do nó. O que ficou conhecido como a Regra de Leonardo Da Vinci ou da preservação da área (Horn 2000; Niklas et al. 2006; Minamino & Tatenno 2014).

Esta hipótese também pode ser expressa matematicamente no caso de uma bifurcação (ramificação em dois segmentos laterais) em: $2\pi r_1^2 + 2\pi r_2^2 = 2\pi r_0^2$ ou simplesmente: $r_1^2 + r_2^2 = r_0^2$ conforme esquema abaixo (figura 1):

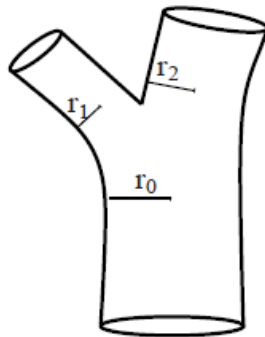


Figura 1. Esquema apresentando um ramo principal de raio r_0 e as duas ramificações que se originam do mesmo cujos raios estão representados por: r_1 e r_2 .

Estudos realizados com árvores jovens da espécie *Acer rufinerve*, revelaram que a área de secção transversal de um ramo foi proporcional à massa foliar cumulativa (à área foliar total do ramo), e a área de secção transversal cumulativa dos ramos filhos acima de um ponto de ramificação foi igual à secção do ramo mãe (Sone et al. 2005) o que confirma a regra de Da Vinci. Entretanto, Minamino et al. (2014), trabalhando com espécies diferentes (*Fagus crenata* e *Abies homolepis*), encontraram resultados conflitantes aos propostos por Da Vinci.

A arquitetura das árvores do Cerrado sentido restrito, diferentemente das que ocorrem em florestas, apresenta tronco e ramos tortuosos e irregulares com casca grossa e por isso são ditas serem plantas xeromórficas (Ribeiro & Walter 1998).

Diante das características peculiares das árvores do bioma Cerrado, principalmente no que se refere à ramificação e à arquitetura em geral, esse estudo teve como objetivo

analisar se a regra de Da Vinci pode ser aplicada à espécie *Ouratea hexasperma* (St.Hil) Bail (Ochnaceae).

2. Metodologia:

Esse estudo foi realizado em uma área de cerrado sentido restrito bem preservado que se localiza entre a BR 020 e o campus da UnB Planaltina. (figura 2). O clima dominante desta região, segundo a classificação de Köppen, é o tropical úmido de savana com inverno seco (Aw) sazonal, com chuvas concentradas entre os meses de outubro e abril e precipitação média anual de aproximadamente 1500 mm. Os meses de junho a agosto atingem média mensal de 50 mm, enquanto o mês de janeiro pode alcançar uma precipitação de 320 mm. Essa região é marcada por temperaturas médias, máximas e mínimas anuais, respectivamente, de 21,5°C, 27°C e 16,5°C (Silva et al. apud Neves et al. 2014).

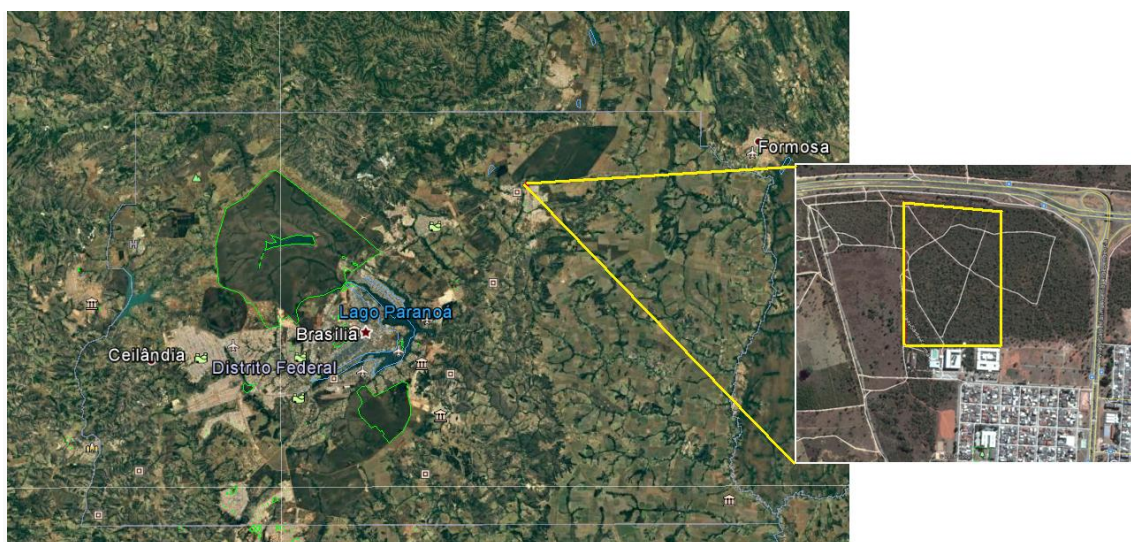


Figura 2. Imagem de satélite da área total do DF e entorno. O recorte em amarelo representa a área de estudo.

A espécie escolhida foi *Ouratea hexasperma* (vassoura de bruxa) devido à sua abundância na área. Foram amostradas 30 árvores das quais foi medido, com fita métrica, o perímetro na base do tronco e, nos níveis superiores na base dos ramos ligeiramente após a bifurcação. O tronco da árvore foi considerado nível zero (N_0) e as medidas foram tomadas até o nível três (N_3) (figura 3). Para cada planta foi feito um esquema simplificado da posição dos ramos de modo a poder correlacionar as medidas de perímetro e o ramo em questão.

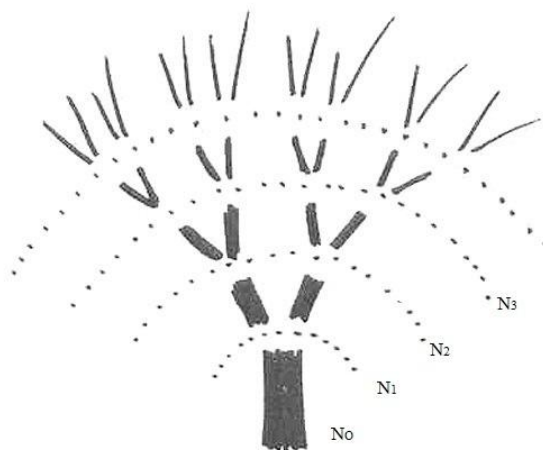


Figura 3.Esquema de uma árvore apresentando os níveis considerados no estudo (de N₀ até N₃).

De posse dos valores de perímetro testou-se a hipótese de Leonardo Da Vinci através de dois métodos distintos.

Método 1:

A área de cada secção transversal foi calculada a partir do perímetro pela seguinte expressão matemática $A = P^2/4\pi$, onde A é a área e P é o perímetro. Em seguida foi calculada a soma das áreas a cada nível (figura 3). A área de cada módulo ao longo de todos os níveis também foi somada (figura 4).

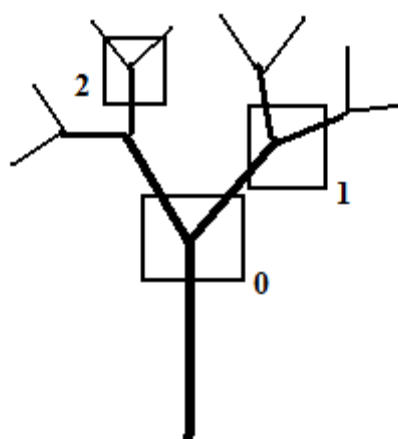


Figura4.Esquema de uma árvore indicando o que foram considerados como módulos neste estudo.

Os resultados obtidos da soma das áreas das secções transversais por nível e por módulo foram utilizados para testar a hipótese de conservação da área, utilizando o *software* Microsoft Excel para produção de gráficos e ajustes de curvas. A diferença das somas das áreas entre os níveis e módulos por nível também foi utilizada para verificar se há conservação de área ao longo de toda a árvore. No caso de haver conservação da área, espera-se que a diferença de um nível para o outro tenda a zero.

Método 2:

Outro método empregado para testar a conservação de área, seguiu o teste proposto por Aratsu (1998). Este autor imaginou que os raios dos ramos originados de uma dada bifurcação e o raio do ramo abaixo desta mesma bifurcação (figura 5) poderiam ser considerados como lados de um triângulo (figura 6).

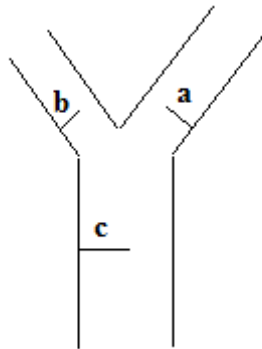


Figura 5. Esquema apresentando secção de uma árvore indicando os raios do ramo principal (c) e dos ramos filhos (a,b) e que são considerados, no modelo de Aratsu lados de um triângulo.

Há vários tipos de triângulos. Desta forma Aratsu concluiu:

Se a arquitetura de uma árvore estiver de acordo com a regra de conservação de área, então espera-se que a soma das áreas acima de um nó seja igual à área abaixo do nó; em outras palavras:

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad \text{ou ainda:}$$

“A soma dos quadrados dos catetos é igual ao quadrado da hipotenusa”.

Em um outro cenário, se a comprimento (circunferência) é que está sendo preservado:

$$\text{Então, } 2\pi a + 2\pi b = 2\pi c \text{ ou ainda } a + b = c$$

o que em termos trigonométricos equivaleria a um triângulo degenerado, em que o ângulo entre a e b é igual a 180° (figura 6).

Na terceira possibilidade a soma das áreas das secções transversais dos níveis superiores seria o dobro da encontrada no nível inferior. Ou seja:

$$a = b = c$$

o que em termos trigonométricos equivaleria pensar em um triângulo equilátero cujos ângulos internos são iguais a 60° (figura 6).

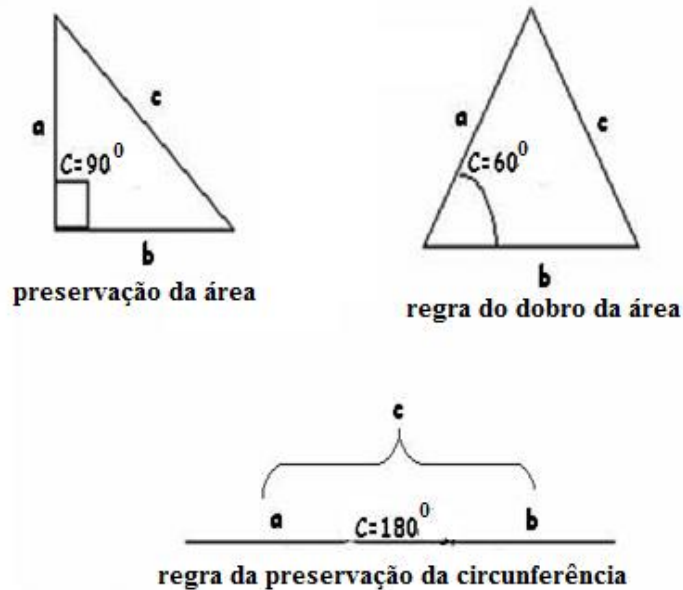


Figura 6. Representação dos triângulos e suas respectivas regras.

Seguindo estes argumentos, Aratsu (1998) sugeriu ser possível verificar qual das três regras as ramificações de uma árvore segue, examinando o resultado do cosseno dos ângulos entre os lados (raios) a, b segundo a equação:

$$\text{Cos (C)} = (a^2 + b^2 - c^2) / 2ab$$

De acordo com as várias regras, os valores de Cos (C) esperados são:

Regra de preservação da área $\text{Cos}(C) = \text{Cos}(90^\circ) = 0$

Regra de preservação de circunferência $\text{Cos}(C) = \text{Cos}(180^\circ) = -1$

Regra de duplicação $\text{Cos}(C) = \text{Cos}(60^\circ) = 0,5$

Resultados e Discussão:

A soma de todas as áreas das secções transversais por nível de ramificação apresentou uma tendência de crescimento linear, ou seja, a área total de um dado nível é maior do que a do nível inferior, embora a diferença da soma da área entre os níveis diminua e tenda a estabilizar, em direção aos níveis mais altos, muito embora nunca chegue a zero (figura 7) (Método 1).

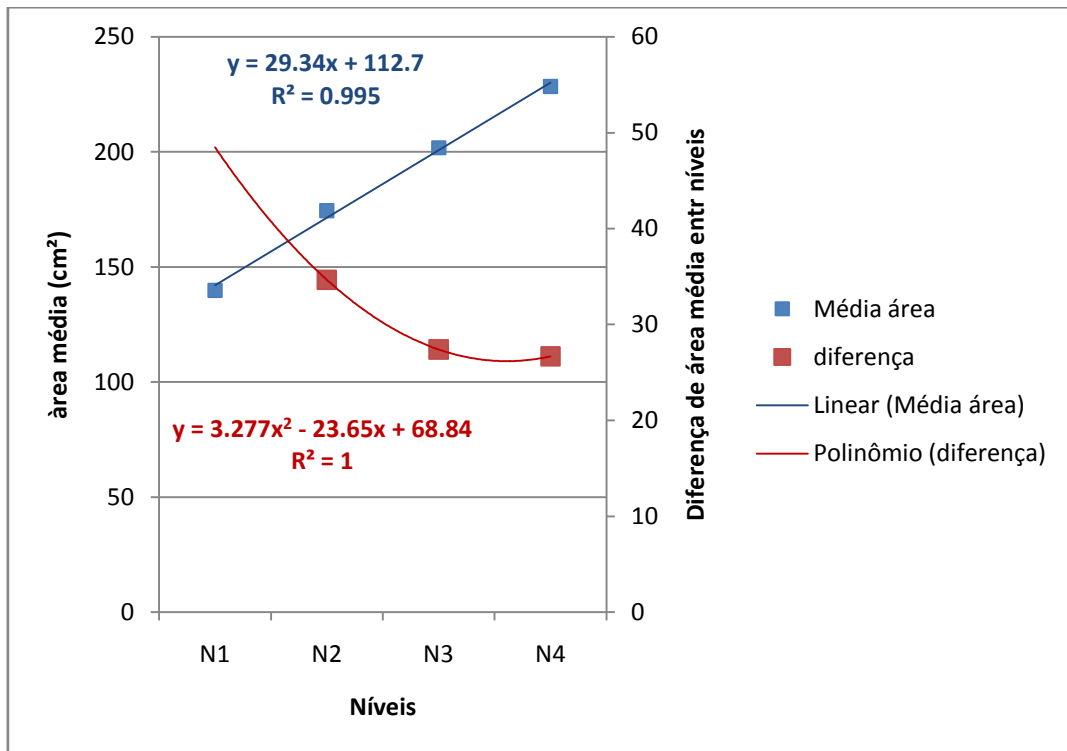


Figura 7. Média das áreas (cm²) por níveis e a diferença da soma entre os níveis.

O aumento linear da área partindo do tronco até os galhos superiores indica que, em três dimensões, a arquitetura das árvores pode ser representada como a secção de um cone invertido (figura 8). Se a soma das áreas em cada nível fosse igual à área do nível imediatamente inferior a arquitetura que melhor descreveria as árvores desta espécie seria um cilindro.

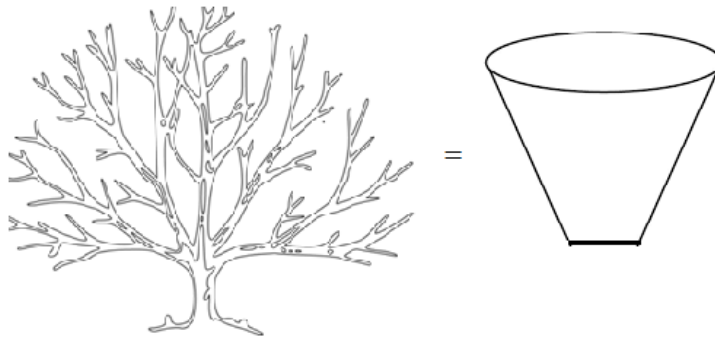


Figura 8. Representações espaciais das árvores analisadas aparentam uma arquitetura similar à secção invertida de cone.

A soma das áreas dos módulos (ver figura 4 – Método 2) também demonstra essa tendência de diminuição das diferenças, (N_0) se aproximou ao valor da soma das áreas do nível acima (N_1) (figura 9), entretanto, a diferença não chega a ser zero. Isto sugere um crescimento linear da soma das áreas.

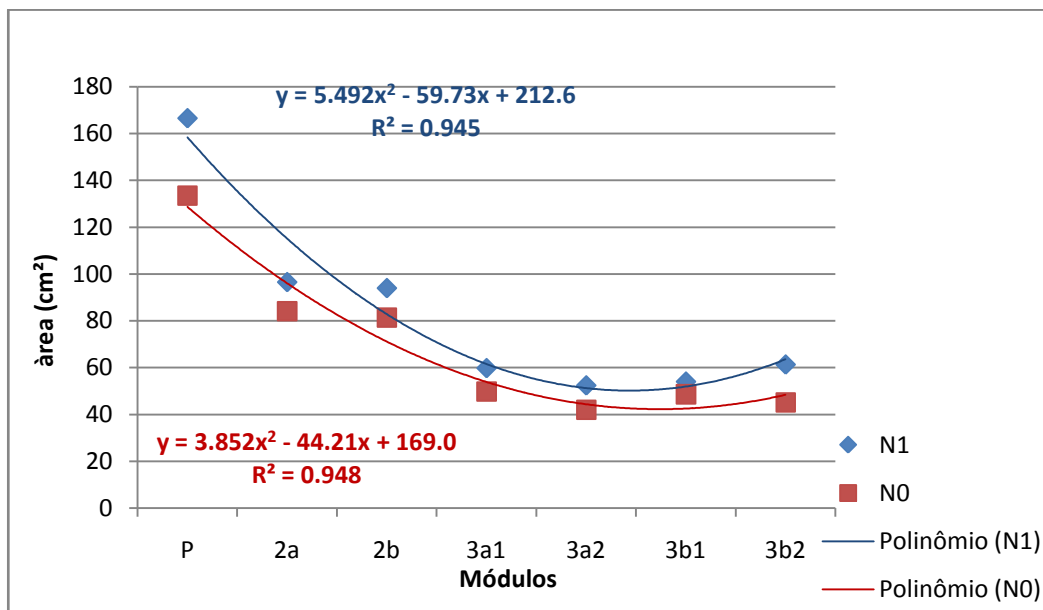
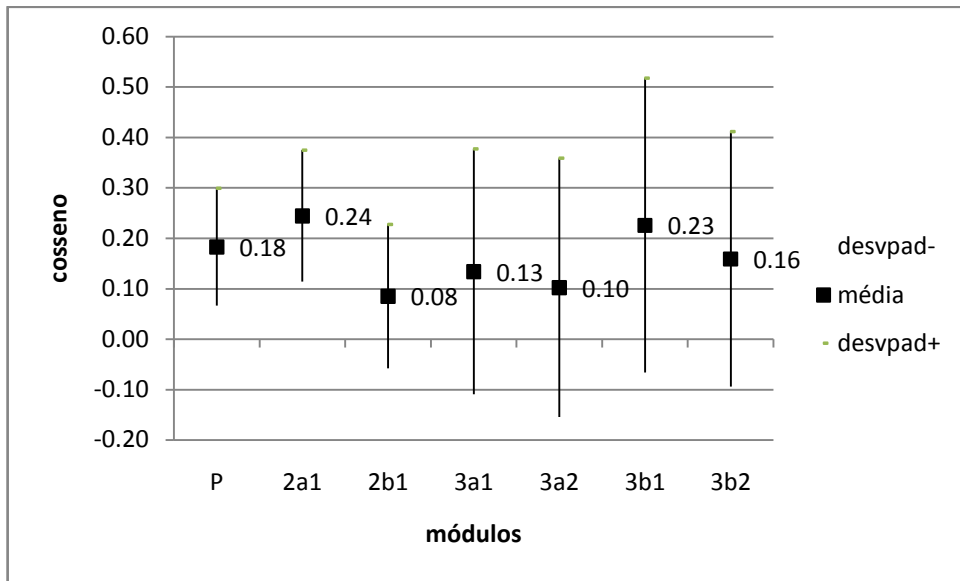


Figura 9. Comparação da média da área dos módulos.

A análise da área dos módulos seguindo o procedimento de Aratsu (1998) também sugere que a soma das áreas dos ramos de um nível superior é maior que a área da secção transversal do ramo imediatamente abaixo (figura 10 A e B). Esses resultados diferem dos encontrados por Aratsu (1998) para várias espécies de árvores.

A



B

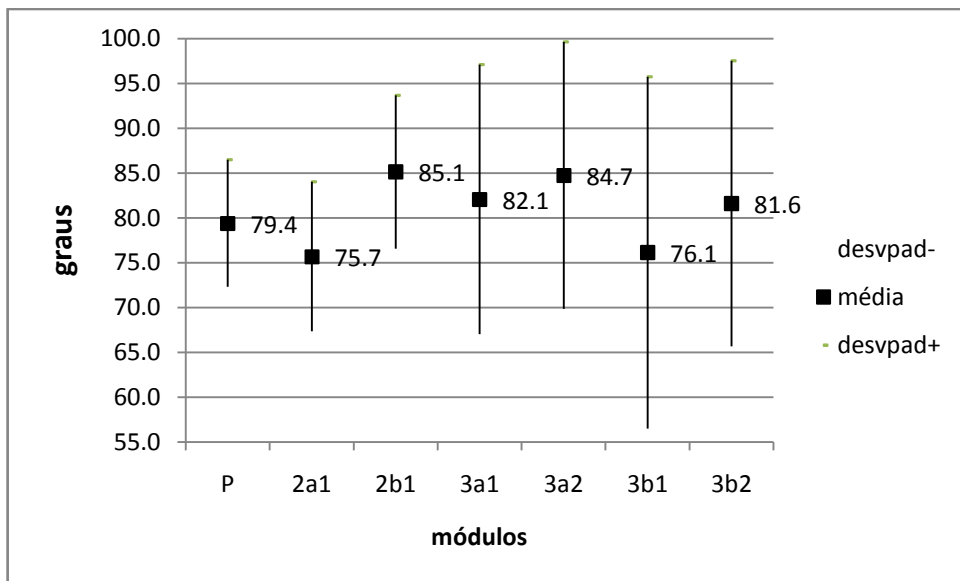


Figura 10. A) Média e desvio padrão do valor do cosseno para os módulos analisados. B) Média e desvio padrão do ângulo correspondente ao cosseno calculado pelo método sugerido por Aratsu (1998) para os módulos analisados. $\text{Cos}(90^\circ) = 0$ preservação da área; $\text{Cos}(180^\circ) = -1$ preservação de circunferência; $\text{Cos}(60^\circ) = 0,5$ regra de duplicação.

Através desse estudo foi possível concluir que a soma das áreas das secções transversais dos ramos de *Ouratea hexasperma* aumenta linearmente quer se considere a soma total por nível de ramificação ou por módulo. Esses resultados recuperam a arquitetura tridimensional das árvores, a de um cone invertido e diferem do sugerido pela regra de conservação de área proposta por Da Vinci.

3. Referencias:

Brown JH, West GB, Enquist BJ. 2000. Scaling in Biology: Patterns and processes, causes and consequences. In: Brown JH, West GB. (eds). Scaling in Biology. Oxford, Oxford University Press. p. 1-24.

Fay N. 2011. Tree Morphology - A Branch of Arboriculture from Renaissance to Raimbault. Treework environmental Practice. <http://www.treeworks.co.uk/about-treework/seminars/>. 10 Nov. 2017.

Da Vinci L. 1955. The notebooks of Leonardo Da Vinci arranged, rendered into English and introduced by Edward MAcCurdy. New York, George Braziller. (p.306).

Gayon J. 2000. History of the concept of allometry. *American Zoologist* 40:748-758.

Gould SJ. 1966. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biological Reviews* 41: 587-640.

Minamino R., Tateno M. 2014. Tree Branching: Leonardo Da Vinci's Rule versus Biomechanical Models. *PLoS ONE* 9: e93535. doi:10.1371/journal.pone.0093535.

Neves G, Sena-Souza JP, Otanásio PN, Contaifer SST, Marques TA, Sousa RF, Couto Jr AF. 2014. Estudo sobre a cobertura vegetal do parque recreativo Sucupira, Planaltina (DF). *Espaço e Geografia* 17:183-205.

Niklas KJ, Spatz HC, Vincent J. 2006. Plant biomechanics: an overview and prospectus. *American Journal of Botany* 93: 1369-1378.

Ribeiro JF, Walter, BMT. 1998. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida, SP. (eds). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, Embrapa. p. 89-166.

Sone K, Suzuki AA, Miyaziwa S, Noguchi K, Terashima I. 2009. Maintenance mechanisms of the pipe model relationship and Leonardo Da Vinci's rule in the branching architecture of *Acer rufinerve* trees. *Journal of Plant Research* 122:41-52.

Sone K, Noguchi K, Terashima I. 2005. Dependency of branch diameter growth in young *Acer* trees on light availability and shoot elongation. *Tree Physiology* 25: 39–48.

West GB, Brown JH, Enquist BJ. 2000. The Origin of Universal Scaling Laws in Biology. In: Brown JH, West GB. (eds). *Scaling in Biology* . Oxford, Oxford University Press. p. 87-112.