

Variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extrativos, lignina e holocelulose na madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr.

Radial variation of anatomical features, specific gravity, extractives, lignin and holocellulose contents in wood of *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr.

Eduardo Luiz Longui¹, Israel Luiz de Lima², Francides Gomes da Silva Júnior³, Alaor Bufolo⁴, Itiberê Moura Sckerratt Suckow⁵, Sandra Monteiro Borges Florsheim⁶

Resumo

O objetivo deste estudo foi caracterizar a variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extrativos, lignina e holocelulose da madeira de *Piptadenia gonoacantha* (pau-jacaré) proveniente de floresta natural e verificar se há correlações entre estas características. Em todas as análises empregaram-se as técnicas usuais para anatomia, propriedades físicas e constituintes químicos da madeira, sendo os dados avaliados por meio de análise de variância, testes de comparações múltiplas e análises de regressão linear. Os resultados mostraram que ocorreu aumento significativo no diâmetro dos vasos, altura e largura dos raios e diminuição na frequência dos raios da medula para a casca. A densidade aparente diferiu entre as posições radiais. Houve aumento significativo no teor de extrativos no sentido medula-casca. Ocorreram correlações positivas entre o diâmetro dos vasos e altura dos raios com o teor de extrativos e entre o teor de holocelulose e a frequência dos vasos.

Palavras-Chave: *Piptadenia gonoacantha*, Propriedades da madeira, Variação radial.

Abstract

In this study we aimed to characterize the radial variation of the anatomical features, specific gravity, extractives, lignin and holocellulose content of *Piptadenia gonoacantha* wood (pau-jacaré) from the natural forest and to investigate the correlations between wood characteristics. Standard techniques in anatomy, physical properties and chemistry of wood were employed; data were evaluated by analysis of variance, multiple comparison tests and linear regression analysis. The results showed a significant increase in vessel diameter, rays height and width and decrease in ray frequency from pith to bark. Specific gravity differed between the radial positions. There was a significant increase in extractives content from pith to bark. There were positive correlations between vessel diameter and rays height with extractives and between holocellulose content and vessel frequency.

Keywords: *Piptadenia gonoacantha*, Wood properties, Radial variation.

INTRODUÇÃO

Na maioria das espécies madeireiras ocorrem variações nas características anatômicas e químicas no tronco das árvores no sentido da medula para a casca. Tais diferenças são decor-

rentes de mudanças progressivas no câmbio vascular e consequentemente nas dimensões e frequências das células por ele geradas, na deposição da parede celular e na formação e acúmulo de extrativos, o que influencia nas propriedades da madeira (PANSCHIN e DE

¹Pesquisador Doutor da Seção de Madeira e Produtos Florestais do Instituto Florestal – Rua do Horto, 931 – Horto Florestal – São Paulo, SP – 02377-000, CP 1322. E-mail: elongui@if.sp.gov.br

²Pesquisador Doutor da Seção de Madeira e Produtos Florestais do Instituto Florestal – Rua do Horto, 931 – Horto Florestal – São Paulo, SP – 02377-000, CP 1322. E-mail: israeluizde.lima@yahoo.com.br

³Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP – Universidade de São Paulo- Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP – 13418-900. E-mail: fgomes@esalq.usp.br

⁴Engenheiro Ambiental, Instituto Florestal – Rua do Horto, 931 – Horto Florestal – São Paulo, SP – 02377-000, CP 1322. E-mail: alaorbb@hotmail.com

⁵Graduando em Engenharia Ambiental, Faculdades Oswaldo Cruz, São Paulo, SP. E-mail: itibere.suckow@gmail.com

⁶Pesquisadora Doutora da Seção de Madeira e Produtos Florestais do Instituto Florestal – Rua do Horto, 931 – Horto Florestal – São Paulo, SP – 02377-000, CP 1322. E-mail: sflorsheim@if.sp.gov.br

ZEEUW, 1964; ZOBEL e BUIJTENEN, 1989; MATSUNAGA *et al.*, 1996; MINATO *et al.*, 1997; OBATAYA *et al.*, 1998; SAKAI *et al.*, 1999; BERGANDER e SALMÉN, 2002; LONGUI, 2005; SANTOS, 2008).

Nesse contexto, estudos anatômicos e químicos correlacionados com as propriedades da madeira, podem revelar as origens das variações na resistência mecânica, permeabilidade, trabalhabilidade, além de possibilitar um entendimento da arquitetura adotada pelas diferentes espécies para tornar eficiente e seguro o transporte de água (KOPAČ e ŠALI, 2003; FAN *et al.*, 2009).

Há muitos estudos que investigaram a variação radial das características anatômicas e propriedades da madeira em espécies de reflorestamento, no entanto, são poucos aqueles com espécies nativas de ocorrência natural. Segundo Bosman (1994), o entendimento da variação de crescimento em ambiente natural é importante para a seleção de espécies para utilização em plantios comerciais. O mesmo pode ser dito para os constituintes químicos da madeira, embora existam muitos trabalhos com enfoque nos teores de extrativos, lignina e holocelulose na produção de papel e celulose (ROSA, 2003), ou que correlacionem estes teores com as características anatômicas e propriedades das madeiras; entre estes são exemplos no Brasil os trabalhos de Trugilho e Vital (1996), Trugilho *et al.* (1996) e Silva *et al.* (2005).

O pau-jacaré - *Piptadenia gonoacantha* Fabaceae (Leguminosae) destaca-se por ocorrer naturalmente em diversos estados do Brasil desde a Bahia, passando pelo sul do Espírito Santo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, ao leste e norte do Rio de Janeiro e Paraná, leste de Santa Catarina e em todo o estado de São Paulo. A espécie é semicaducifolia e, quando adulta pode atingir até 30 m de altura e 90 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, 1,30m do solo), o tronco pode ser reto ou tortuoso com cristas aculeadas em toda a extensão. Sua casca possui cristas transversais e longitudinais que lembram o couro de jacaré, daí seu nome popular. Quanto ao grupo sucessional é uma espécie pioneira a secundária inicial, que cresce em vários tipos de solo. Embora a madeira não seja considerada de uso industrial, é empregada para os mais diversos fins, sendo alguns deles: brinquedos, embalagens, construção civil e acabamentos internos (CARVALHO, 2003).

Este estudo teve como objetivos caracterizar

a variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extrativos, lignina e holocelulose da madeira de *Piptadenia gonoacantha* proveniente de Floresta nativa e verificar se há correlações entre as características anatômicas, químicas e a densidade aparente.

MATERIAL E MÉTODOS

O material de estudo foi obtido no Parque Estadual Cantareira, área de floresta ombrófila densa, situada na cidade de São Paulo (zona norte), estendendo-se entre os municípios de Mairiporã, Caieiras e Guarulhos. Suas coordenadas geográficas são: 23°22'S e 46°36'W, com uma área de aproximadamente 5.600 ha. Apresenta precipitação média anual de 1320 mm e temperatura média anual de 19,9°C. O clima segundo o sistema de classificação de Köppen é do tipo Cfb, temperado sem estação seca (NEGREIROS *et al.*, 1974 e ALCEU JONAS FARIA, dados não publicados).

Por meio de coleta destrutiva, obtiveram-se discos no DAP (média de 25 cm) de três árvores de *Piptadenia gonoacantha*, de cada um deles foram desdobradas duas tiras radiais, em seguida retiraram-se amostras em seis posições no sentido medula-casca para as análises anatômicas, densidade aparente e análises químicas (Figura 1). Uma amostra de madeira de cada árvore coletada está depositada na Xiloteca do Instituto Florestal de São Paulo (SPSPFw) com os seguintes números: 3536, 3537 e 3538.

As amostras para os estudos anatômicos foram amolecidas por meio do cozimento em água e glicerina na proporção de (4:1) até apresentarem condições ideais para o seccionamento. As secções histológicas foram obtidas em micrótomo de deslize Zeiss-Hyrax S50, com espessura entre 18 e 25 µm e processadas de acordo com Sass (1951); além das secções, preparou-se o lenho dissociado segundo Berlyn e Miksche (1976). Foram avaliadas as características anatômicas sugeridas pelo IAWA Committee (1989), sendo que para cada característica foi adotado n=25. A avaliação anatômica foi realizada em microscópio (Olympus CX 31) equipado com câmera (Olympus Evolt E330) e computador com software de análise de imagens (Image-Pro 6.3).

Para obtenção da densidade aparente utilizou-se o método da balança hidrostática segundo Silveira *et al.*, (1999). A partir dos valores obtidos foi empregada a expressão:

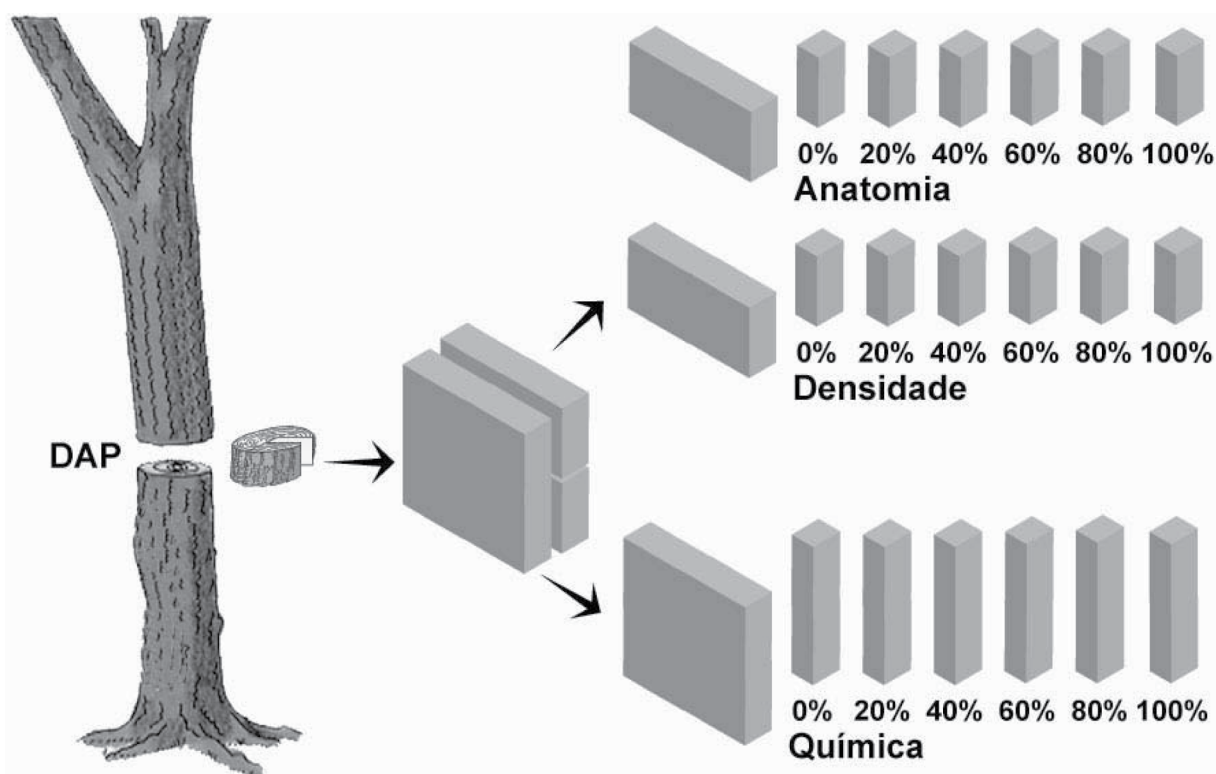


Figura 1. Representação esquemática da obtenção das amostras para as análises anatômicas e químicas e da densidade aparente.

Figure 1. Schematic representation of samples for anatomical and chemical analysis and specific gravity.

$$\rho_{ap} = P_u / V_u$$

Em que: ρ_{ap} : densidade aparente, (kg m^{-3}); P_u : massa do corpo-de-prova, a 15% de umidade (kg); V_u : volume deslocado pelo do corpo-de-prova, 15% de umidade (m^3).

As amostras para as análises químicas foram fragmentadas em pedaços menores com martelo e formão e trituradas em micromoinho de facas. O pó resultante foi classificado em peneiras de malha 40 e 60 mesh sendo selecionado o material retido na última peneira. Para as análises empregou-se a norma TAPPI (1998) TAPPI T20 e T222 - teor de extrativos e teor de lignina respectivamente; o teor de holocelulose foi obtido por diferença a partir da expressão:

$$\text{Holocelulose(\%)} = [100 - (\text{extrativos(\%)} + \text{lignina(\%)})]$$

A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa SigmaStat 3.5 (SPSS Incorporation). Na análise comparativa, os resultados foram avaliados por meio de análise de variância para medidas repetidas, quando a distribuição dos dados foi normal, aplicou-se estatística paramétrica e os resultados foram expressos em média e desvio-padrão (One Way Repeated Measures Analysis of Variance). Quando a distribuição não foi normal, aplicou-se estatística

não paramétrica, sendo os valores expressos em mediana e intervalo entre os percentis p25-p75 (Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks). Quando uma diferença significativa foi observada, aplicou-se o teste de Tukey para identificar o par de resultados determinantes das diferenças. A correlação entre diferentes variáveis foi analisada por meio de regressão linear, como por exemplo, na comparação da variação radial das características anatômicas e as correlações entre estas e a densidade aparente e os teores de extrativos, lignina e holocelulose.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta um resumo da análise de variância das características anatômicas da madeira de *Piptadenia gonoacantha*. Observaram-se aumentos significativos entre as posições radiais no sentido medula-casca para o diâmetro dos vasos (Figuras 2 e 4), altura e largura dos raios (Figuras 3 e 4) e espessura da parede das fibras (Figura 4); já a frequência dos raios diminuiu significativamente no mesmo sentido (Figura 3). Para a frequência e comprimento dos elementos de vaso e diâmetro das fibras, não foram observadas tendências claras, uma vez que para essas características não ocorreu diferença estatística significativa entre as regiões medula e casca (Tabela 1).

De maneira geral, os valores para as características dos vasos, fibras e raios de *P. gonoacantha* mencionados por Mainieri e Chimelo (1989) foram ligeiramente maiores do que os obtidos no presente estudo, tal fato pode ser atribuído a uma possível diferença na idade ou local de origem das amostras.

A tendência em produzir células com maiores dimensões com o passar da idade e espessamento do tronco, pode ser explicada pela maturação do lenho (WILKES, 1988), este padrão de variação anatômica é comum em espécies do gênero *Eucalyptus*, sendo acompanhada também de aumento na densidade no sentido medula-casca (TOMAZELLO FILHO, 1985; VEENIN *et al.*, 2005; QUILHÓ *et al.*, 2006; FLORSHEIM *et al.*, 2009).

No entanto, para espécies nativas, diferentes padrões são observados, além disso, as variações podem ocorrer apenas nos vasos, raios ou nas fibras. Diversos autores destacaram variação nas dimensões dos vasos, Dünisch *et al.* (2004) em *Ilex paraguariensis*, Zanon *et al.* (2008) em *Croton floribundus*, Testoni *et al.* (2009) para *Plathymenia reticulata* e Longui *et al.* (2009) para *L. divaricata* relataram aumento no comprimento dos vasos da medula para a casca. Além de aumento no diâmetro dos vasos (DÜNISCH *et al.*, 2004 e ZANON *et al.*, 2008).

Para as fibras, os resultados também divergem, alguns autores mencionam aumento do comprimento da medula para a casca, tais como Testoni *et al.*, (2009), Andrade *et al.* (2009) para *Gallesia integrifolia*, Garcia *et al.* (2009) para *Cariniana legalis*, outros como Lima *et al.* (2008) em *Cupania vernalis*, Teixeira (2008) em *Anadenanthera peregrina* e Suckow *et al.* (2009) para *Anadenanthera colubrina*, além de aumento no comprimento, esses autores também descrevem aumento da espessura da parede e diminuição no diâmetro e lume das fibras da medula para a casca; Zanon *et al.* (2008) não observaram variações estatisticamente significativas.

Para os raios há relativamente poucos trabalhos que exploraram a variação radial; Urbinati *et al.* (2003) em *Terminalia ivorensis* observaram diminuição na frequência dos raios no sentido medula-casca, o mesmo resultado do presente estudo, enquanto que para Zanon *et al.* (2008) houve aumento significativo no mesmo sentido. Segundo Urbinati *et al.* (2003), a redução na frequência dos raios próximo ao câmbio pode decorrer da diminuição das iniciais radiais e aumento das iniciais fusiformes.

Com o objetivo de entender melhor a variação radial das características anatômicas realizaram-se análises de regressão linear, por meio das quais podem ser notadas relações positivas significantes entre a posição radial e o diâmetro dos vasos ($R^2=0,81$), altura ($R^2=0,78$) e largura dos raios ($R^2=0,68$); e espessura da parede das fibras ($R^2=0,69$). Entretanto, a frequência dos raios mostrou relação negativa significativa ($R^2=0,65$) com a posição radial (Figura 4).

Na Tabela 2 está apresentado um resumo da análise de variância da densidade aparente e características químicas da madeira de *Piptadenia gonoacantha*. Pode-se verificar que ocorreram diferenças significativas entre as posições radiais somente para a densidade aparente e extrativos totais (Tabela 2). A densidade aparente embora tenha mostrado uma tendência de aumento no sentido medula-casca, apenas a posição 20% foi significativamente maior do que a posição 0% (medula). Já o teor de extrativos apresentou aumento significativo no sentido medula-casca, sendo esta variação relacionada com a posição radial (Figura 5), enquanto que os teores de lignina e holocelulose não mostraram variação significativa (Tabela 2).

Mainieri e Chimelo (1989) descrevem para *P. gonoacantha*, densidade aparente de 750 kg m^{-3} ; entre as amostras analisadas neste estudo, apenas a posição 20% ficou acima deste valor (760 kg cm^{-3}), no entanto a média entre todas as posições foi mais baixa (710 kg m^{-3}). Considerando que as árvores utilizadas neste trabalho apresentaram cerca de 1/3 dos valores máximos de DAP (90 cm) descritos por Carvalho (2003) para a espécie, supõe-se que análises em indivíduos mais velhos possam revelar variações não observadas neste estudo.

Em espécies nativas, da mesma forma que acontece com as características anatômicas, há informações distintas quanto à variação radial da densidade. Lima *et al.* (2008) em *Cupania vernalis*, Zanon *et al.* (2008) em *Croton floribundus*, Andrade *et al.* (2009) em *Gallesia integrifolia* e Testoni *et al.* (2009) em *Plathymenia reticulata* não observaram variação significativa na densidade no sentido medula-casca. Enquanto que Garcia *et al.* (2009) para *Cariniana legalis* notaram diminuição da densidade no mesmo sentido radial. Já Teixeira (2008) em *Anadenanthera peregrina*, Suckow *et al.* (2009) em *Anadenanthera colubrina* e Longui *et al.* (2009) para *L. divaricata* encontraram aumento significativo na densidade da medula para a casca, estes últimos

autores sugerem que o maior volume dos raios e a menor espessura da parede das fibras na região da medula contribuíram para a ocorrência dos menores valores de densidade aparente. Resultados semelhantes foram notados no presente estudo, com maiores valores para a altura e largura dos raios e frequência de vasos, além de menor espessura da parede das fibras na região da medula (posição 0%). Embora os resultados para estas características anatômicas não

tenham diferido de outras posições radiais (Tabela 1), sugere-se que tenham contribuído para a ocorrência de menor densidade nesta posição (Tabela 2). Como nas características anatômicas supracitadas, o teor de extrativos também foi menor na posição 0%, resultado que pode ter contribuído para a menor densidade, uma vez que segundo Panshin e De Zeeuw (1964), o teor de extrativos, pode responder por mais de 20% do peso seco em madeiras tropicais.

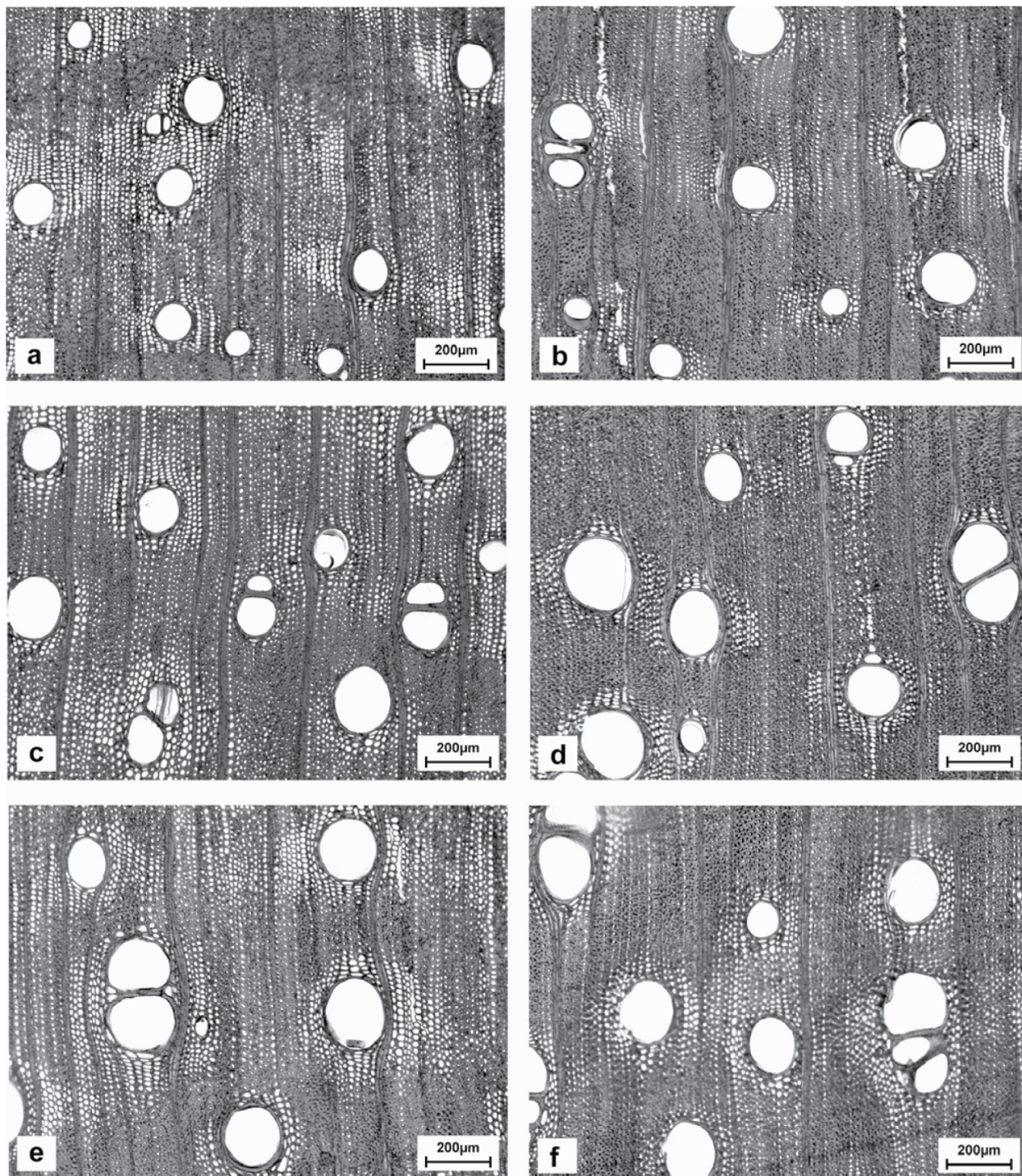


Figura 2. Secções transversais do lenho de *Piptadenia gonoacantha*. Notar a diferença no diâmetro dos vasos entre as posições radiais, especialmente entre as posições medula e casca. a = 0% (medula), b = 20%, c = 40%, d = 60%, e = 80% e f = 100% (casca).

Figure 2. Transverse sections of *Piptadenia gonoacantha* wood. Note the difference in vessel diameter between the radial positions, especially between the positions pith and bark. a = 0% (pith), b = 20%, c = 40%, d = 60%, and f = 80% = 100% (bark).

Tabela 1. Variação radial das características anatômicas.
Table 1. Radial variation of the anatomical features.

Características anatômicas	Posição radial							F	X ²	P
	0%	20%	40%	60%	80%	100%				
DV (mm)	112,7 ± 35,1 b 113,7 (88,7-135,3)	125,2 ± 40,9 b 123,1 (103,4-154,1)	125,3 ± 38,6 b 125,5 (97,8-157,7)	133,9 ± 42,7 a,b 138,2 (112,3-167,6)	142,7 ± 39,2 a 143,1 (118,2-169,5)	136,2 ± 39,8 a,b 137,9 (108,4-167,6)		8,023	--	<0,001
CV (mm)	290,1 ± 88 279,5 (245,6-319) c	320,8 ± 65,7 326 (272,1-363,9) a,b	310,8 ± 71,7 317,2 (258,8-353,7) b,c	317,4 ± 58 313,3 (267,6-363,5) b,c	302,6 ± 59,8 303,7 (261,9-343,9) b,c	298,3 ± 69,5 301,9 (246,3-346,4) b,c		--	15,603	0,008
FV (n° mm ⁻²)	10 ± 2 11 (8-12) a	9 ± 2 9 (8-11) a,c	8 ± 2 8 (7-9) b,c	8 ± 2 8 (6-10) b,c	7 ± 2 7 (6-9) b,c	9 ± 2 9 (7-12) a,c		--	40,483	<0,001
AR (mm)	207,8 ± 76,7 213,8 (151,3-259,3) c	260,2 ± 117,8 251 (154,6-353,9) a,b	249,6 ± 108,6 229,1 (158,1-306,4) b,c	273,3 ± 117,3 256,2 (196,1-301,6) a,b	271,0 ± 121,5 231,7 (190,1-334,5) a,b	291,4 ± 115,8 265 (205,1-349,5) a		--	32,651	<0,001
LR (mm)	27,6 ± 9,4 27,7 (21,7-33,6) b	33,7 ± 10,9 34,4 (25,8-43,6) a	31,0 ± 11,3 30,8 (21,8-37,8) a,b	32,5 ± 11,2 33,6 (23,7-39,1) a	34,1 ± 8,1 33,7 (27,7-39,6) a	36,6 ± 8,9 35,6 (31,1-43,6) a		--	34,198	<0,001
FR (n° mm ⁻¹)	7 ± 1 a 7 (7-8)	6 ± 1 a,b 7 (6-8)	7 ± 1 a,b 7 (6-8)	6 ± 1 a,b 7 (6-7)	6 ± 1 a,b 7 (6-7)	6 ± 1 b 7 (6-7)		--	16,754	0,005
CF (mm)	899,9 ± 154,4 920,2 (795,7-1016,7)	880,9 ± 162,7 872,4 (742,7-991,2)	874,9 ± 128,0 867 (804,9-975)	904,5 ± 131,5 910,3 (802,9-996,6)	860,1 ± 141,7 859,9 (758,7-945,7)	909,7 ± 142 896,6 (820,9-975,9)		0,866	--	0,505
DF (mm)	18,6 ± 2,8 18 (16,7-20) b	20,1 ± 3,6 20,7 (18,2-21,9) a,b	19,2 ± 2,9 18,4 (17,5-21,9) a,b	20,7 ± 3,7 20,1 (18-23) a	19,8 ± 3,7 19,1 (17,8-21,4) a,b	20,2 ± 3,9 19 (17,8-22,3) a,b		--	13,533	0,019
LF (mm)	10,1 ± 2,9 10,1 (8,6-11,9)	11,2 ± 3,1 11,1 (9-12,8)	10,6 ± 2,8 10,7 (8,9-12)	11,2 ± 3,4 10,5 (8,5-12,9)	10,8 ± 3,5 10,5 (8,4-12,7)	10,6 ± 3,6 9,8 (8,3-11,7)		--	5,936	0,312
PF (mm)	4,2 ± 1 b 3,9 (3,4-4,7)	4,4 ± 1 a,b 4,4 (3,8-4,9)	4,2 ± 0,8 a,b 4,2 (3,5-4,9)	4,7 ± 1 a,b 4,4 (3,9-5,4)	4,5 ± 0,8 a,b 4,5 (3,9-5,1)	4,7 ± 0,8 a 4,7 (4,2-5,1)		2,733	--	0,02

Os valores são expressos em média ± desvio-padrão, mediana (p25-p75). Na mesma linha, valores seguidos de letras distintas diferem estatisticamente em (p < 0,05) pelo teste de Tukey. DV = diâmetro dos vasos; CV = comprimento dos elementos de vaso; FV = frequência de vasos; AR = altura dos raios; LR = largura dos raios; FR = frequência dos raios; CF = comprimento das fibras; DF = diâmetro das fibras; LF = lume das fibras; PF = espessura da parede das fibras.

Values are expressed as mean and standard deviation, median (p25-p75). In the same line, values followed by distinct letters differ statistically at (p < 0,05) by Tukey test. DV = vessel diameter; CV = vessel element length; VF = vessel frequency; AR = rays height; LR = ray width; FR = ray frequency; CF = fiber length; DF = fiber diameter; LF = fiber lumen diameter; PF = fiber wall thickness.

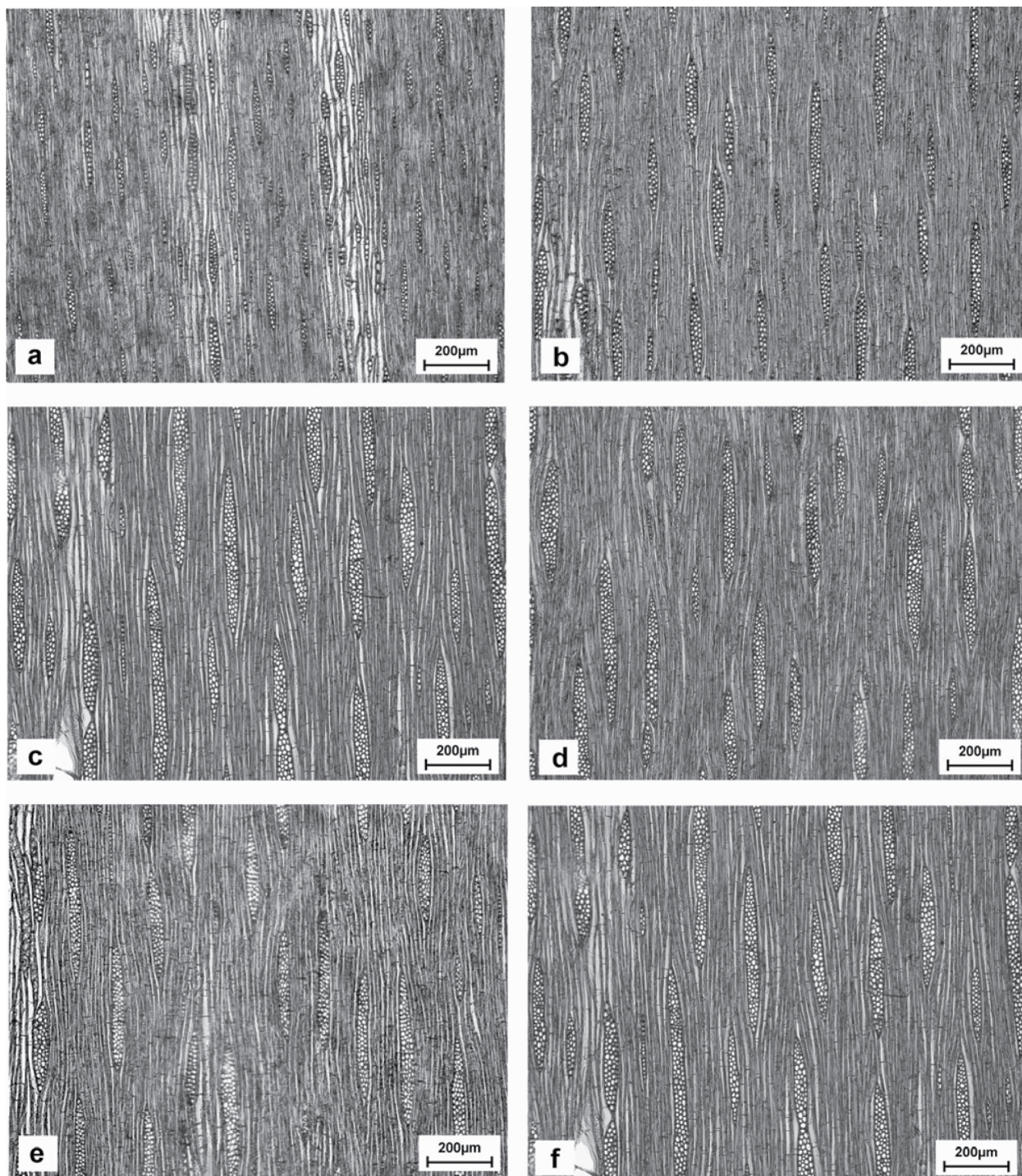


Figura 3. Secções longitudinais tangenciais do lenho de *Piptadenia gonoacantha*. Observar a variação na altura dos raios, especialmente entre as posições medula e casca. a = 0% (medula), b = 20%, c = 40%, d = 60%, e = 80% e f = 100% (casca).

Figure 3. Longitudinal sections of *Piptadenia gonoacantha* wood. Observe the variation in rays height, especially between the positions pith and bark. a = 0% (pith), b = 20%, c = 40%, d = 60%, and f = 80% = 100% (bark).

Wiemann e Williamson (1989) em estudo com 20 espécies tropicais encontraram em 16 delas aumento significativo da densidade no sentido medula-casca. Apesar deste resultado os autores mencionam que várias espécies tropicais apresentam madeira relativamente homogênea quanto a essa propriedade ao longo das camadas de crescimento, o que explicaria a ausência

de variação. Os mesmos autores inferem que o aumento radial da densidade pode estar relacionado ao grupo sucessional, uma vez que espécies pioneiras crescem rapidamente, o que ocasiona madeira mais leve nos primeiros anos de vida, ao passo que quando a árvore atinge a altura necessária para absorver luz satisfatoriamente, ocorre reforço mecânico com aumento na densi-

dade aparente. De acordo com Carvalho (2003) *P. gonoacantha* é uma espécie pioneira a secundária inicial, a sua classificação nestes grupos suces-

sionais pode explicar o aumento significativo da densidade entre as posições 0 e 20% com posterior estabilização nas demais posições.

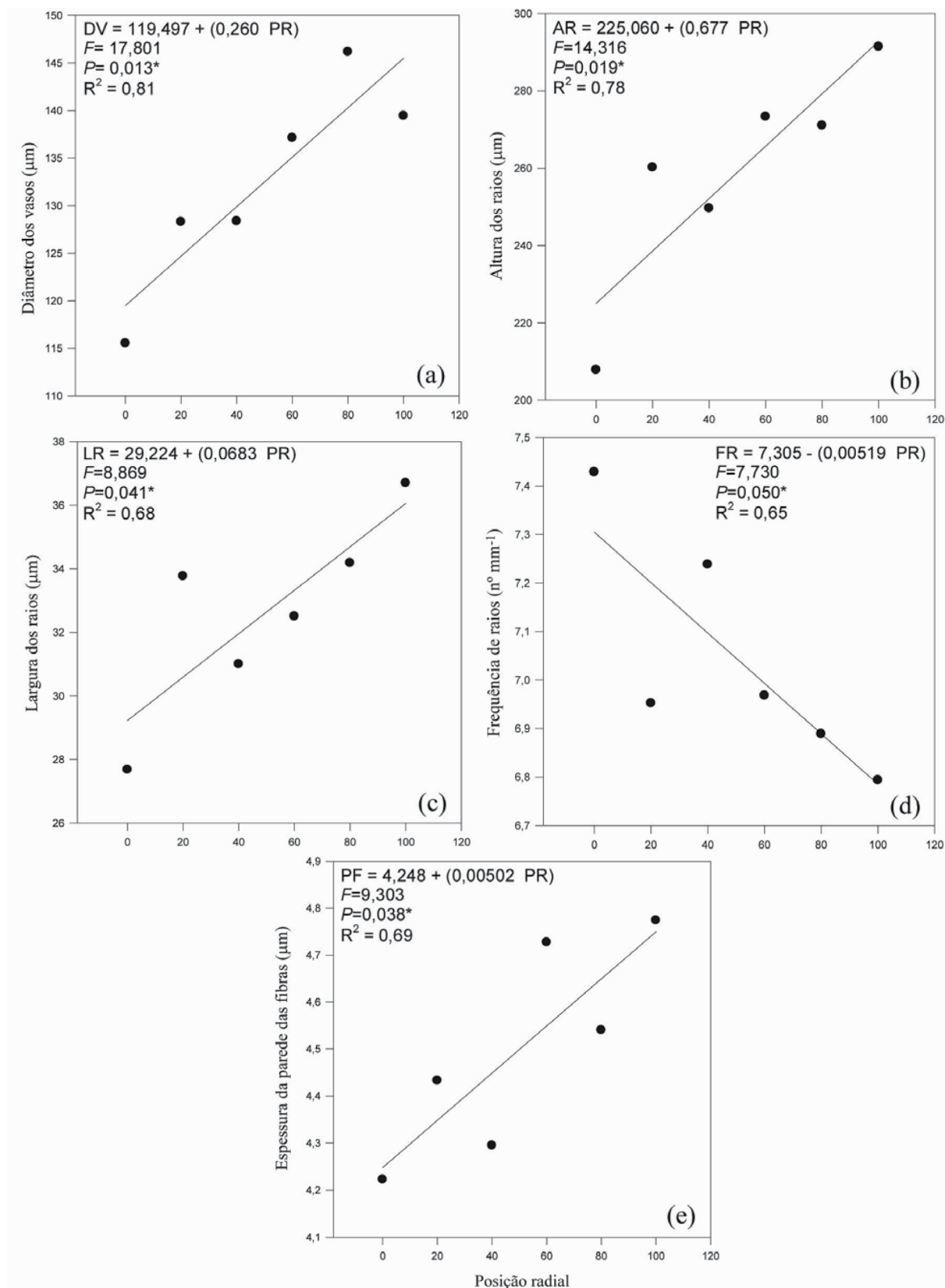


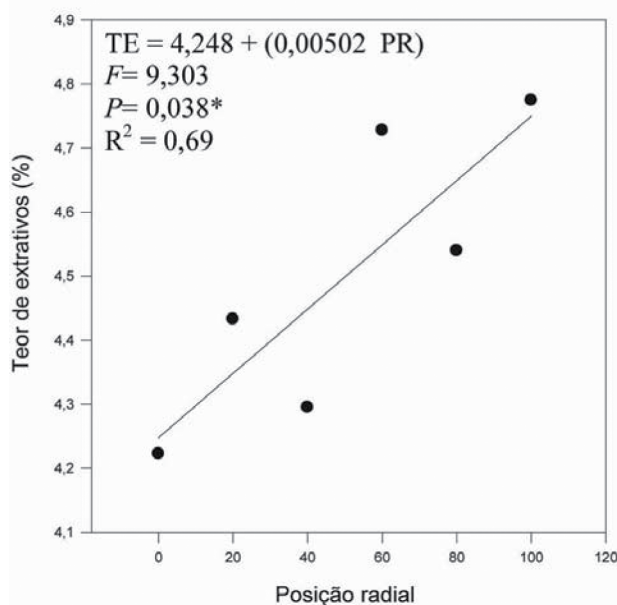
Figura 4. Variação das características anatômicas em função da posição radial. (a) diâmetro dos vasos. (b) altura dos raios. (c) largura dos raios. (d) frequência dos raios. (e) espessura da parede das fibras.
Figure 4. Variation of anatomical features as a function of radial position. (a) vessel diameter. (b) rays height. (c) rays width. (d) rays frequency. (e) fibers wall thickness.

Tabela 2. Variação radial da densidade aparente e características químicas.**Table 2.** Radial variation of the specific gravity and chemical features.

	Posição radial						ANOVA	
	0%	20%	40%	60%	80%	100%	F	P
ρ_{ap} (kg m ⁻³)	670 ± 70 b	760 ± 120 a	710 ± 100 a,b	700 ± 80 a,b	700 ± 100 a,b	720 ± 110 a,b	4,010	0,005
ET (%)	4,7 ± 0,3 b	5,6 ± 1 b	7 ± 0,7 a	6,7 ± 0,7 a,b	7 ± 0,8 a	7,5 ± 1,1 a	16,202	0,001
LT (%)	27,6 ± 2,5	28 ± 2,3	29 ± 1,1	28,4 ± 1,1	28,1 ± 0,2	27,8 ± 0,5	0,602	0,700
HO (%)	67,5 ± 2,5	66,3 ± 1,8	63,9 ± 1,2	64,8 ± 1	64,7 ± 0,5	64,5 ± 1,2	2,980	0,067

Os valores são expressos em média ± desvio-padrão. Na mesma linha, valores seguidos de letras distintas diferem estatisticamente em ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. ρ_{ap} = densidade aparente; ET = extrativos totais; LT = lignina total e HO = holocelulose.

Values are expressed as mean and standard deviation. In the same line, values followed by distinct letters differ statistically at ($p < 0,05$) by Tukey test. ρ_{ap} = specific gravity; ET = extractives content, LT = lignin content and HO = holocellulose content.

**Figura 5.** Variação do teor de extrativos em função da posição radial**Figure 5.** Variation of extractives content as a function of radial position.

Quanto ao teor de extrativos, Gonçalves e Lelis (2001) em estudo com cinco leguminosas arbóreas, incluindo *P. gonoacantha* com DAP de 12 cm, obtiveram para o teor de extrativos, valores de 9 e 11% para extração com água quente e com água e sulfito respectivamente. Este resultado é superior ao encontrado nesse estudo, mesmo na região da casca que apresentou o maior teor (7,5%), considerando que as árvores aqui analisadas apresentavam DAP de 25 cm, o dobro das estudadas pelos autores supracitados e, portanto, possivelmente mais velhas, acredita-se que esta diferença seja devida a metodologia, uma vez que no presente estudo empregou-se sequência de extração envolvendo álcool, tolueno-álcool e água quente para extração.

Embora para muitas espécies, um maior teor de extrativos seja encontrado no cerne, o que de acordo com Pettersen (1984) contribui para a coloração mais escura nessa região do tronco, em *P. gonoacantha* não há distinção de cor entre cerne e albúmen, sendo que ambos apresentam coloração levemente rosada, o que está de

acordo com Mainieri e Chimelo (1989), e que pode ser entendido pela distribuição radial dos extrativos, na qual apesar da diferença estatisticamente comprovada, a variação entre os teores nas posições radiais não foi suficiente para promover alteração na cor da madeira.

Quanto aos teores de lignina e holocelulose não foram encontrados outros trabalhos com *P. gonoacantha* para comparar com os valores aqui encontrados, Mori *et al.* (2003) para *Piptadenia rigida* encontrou teores de lignina (24,31 %) e Holocelulose (62,02%), além de maior teor de extrativos (15,31%) do que os apresentados para *P. gonoacantha*.

Também foram investigadas as correlações entre as características anatômicas, químicas e a densidade aparente por meio de análises de regressão linear. Os resultados são mostrados na Figura 6, na qual são notadas relações positivas significantes entre o teor de extrativos e o diâmetro dos vasos ($R^2=0,68$), entre o teor de extrativos e a altura dos raios ($R^2=0,69$) e entre o teor de holocelulose e a frequência dos vasos ($R^2=0,69$).

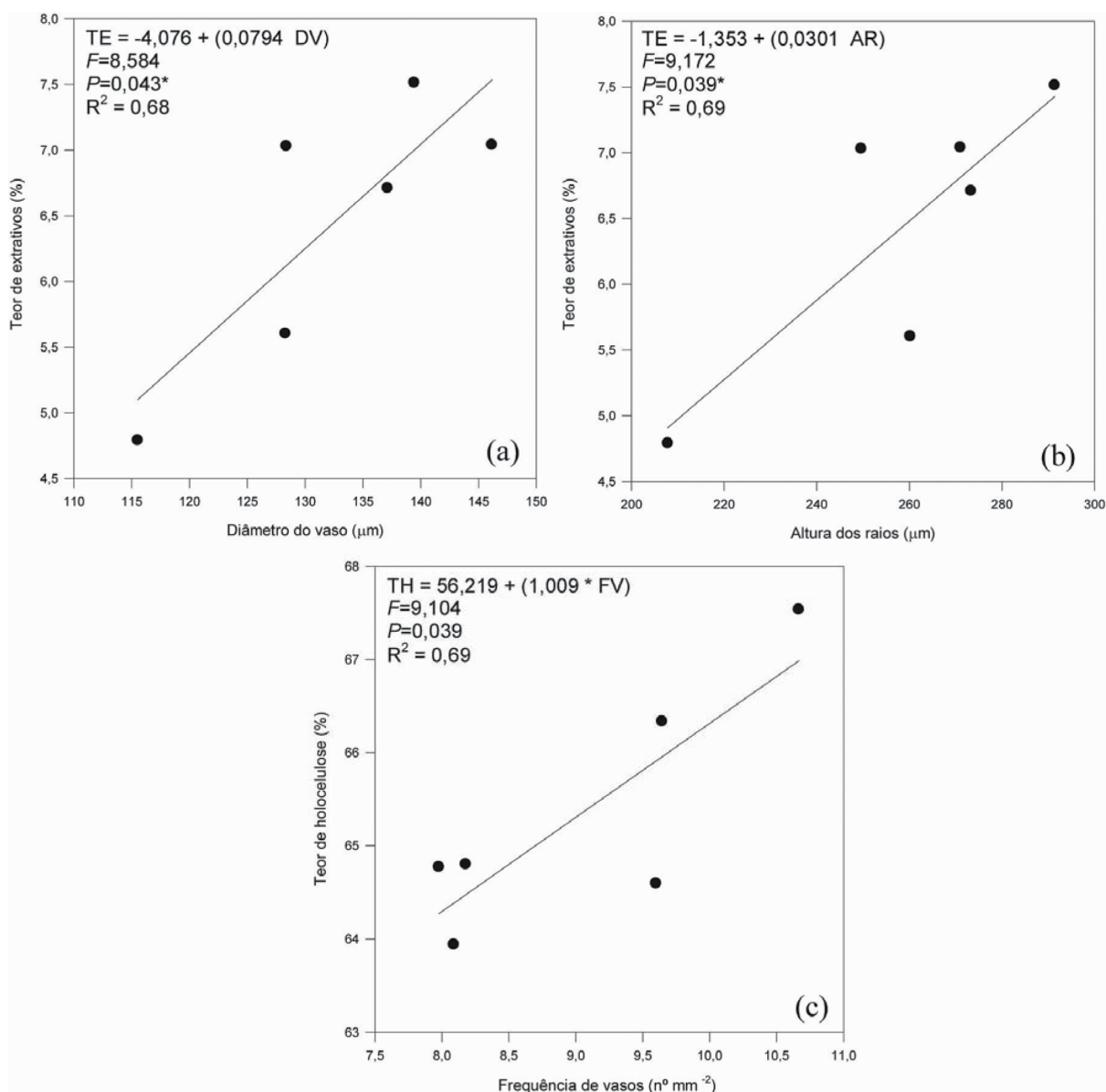


Figura 6. Variação das características químicas em função das características anatômicas. (a) correlação entre o teor de extrativos e o diâmetro dos vasos. (b) correlação entre o teor de extrativos e a altura dos raios. (c) correlação entre o teor de holocelulose e a frequência dos vasos.

Figure 6. Variation of chemical features as a function of anatomical features. (a) correlation between extractives content and vessels diameter. (b) correlation between extractives content and rays height. (c) correlation between holocellulose content and vessels frequency.

As relações positivas entre o diâmetro dos vasos e altura dos raios com o teor de extrativos, em parte podem ser entendidas da seguinte forma: o aumento na área dos vasos e raios, representados pelo aumento no diâmetro dos vasos e altura dos raios no sentido medula-casca propicia uma área maior para o acúmulo de extrativos, uma vez que estes, segundo Pettersen (1984) estão presentes nas células parenquimáticas e nos lumes dos vasos.

Já a interpretação da relação entre o teor de holocelulose e a frequência de vasos é mais difícil, apesar da relação ser considerada forte ($R^2=0,69$), poder-se-ia especular que o au-

mento no número destas células representaria aumento em área de parede celular; como a holocelulose contribui com grande parcela da parede, esse aumento na frequência dos vasos explicaria no aumento no teor de holocelulose. Embora seja de conhecimento que as fibras constituam a maior parte do lenho e que essa característica implica em grande relação com as propriedades da madeira de acordo com Fujiwara *et al.* (1991), como estas células possuem paredes mais espessas que a dos vasos, a correlação entre a porcentagem de fibras e o teor de holocelulose seria mais fácil de entender.

CONCLUSÕES

Ocorreu aumento significativo no diâmetro dos vasos, altura e largura dos raios e diminuição na frequência dos raios da medula para a casca. Outras características anatômicas: comprimento dos vasos, diâmetro e espessura da parede das fibras embora tenham apresentado variação entre as posições não mostraram tendências claras.

A densidade aparente apenas diferiu entre as posições radiais 0 e 20%.

Houve aumento significativo no teor de extrativos no sentido medula-casca.

Há relações positivas entre o diâmetro dos vasos e altura dos raios com o teor de extrativos e entre o teor de holocelulose e a frequência dos vasos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio laboratorial de Sonia Godói Campião da Seção de Madeira e Produtos Florestais do Instituto Florestal e à Maria Regina Buch do Laboratório de Química, Celulose e Energia da ESALQ/USP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, I.M. ; LONGUI, E.L.; LIMA, I.L.; FLORSHEIM, S.M.B. Efeito da procedência na variação radial do comprimento das fibras e densidade básica de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, v.40, p. 39-43, 2009.
- BERGANDER, A.; SALMÉN, L. Cell wall properties and their effects on the mechanical properties of fibers. **Journal Material Science**, Dordrecht, n.37, p.151-156, 2002.
- BERLYN, G.P.; MIKSCH, J.P. **Botanical microtechnique and cytochemistry**. Iowa State University Press, 1976.
- BOSMAN, M.T.M.; DE KORT, I.; VAN GENDEREN, M.K.; BAAS, P. Radial variation in wood properties of naturally and plantation grown light red meranti (*Shorea*, Dipterocarpaceae). **Iawa Journal**, Leiden, v.15, n.2, p.111-120, 1994.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Florestas, 2003. 1039p.
- DÜNISCH, O.; REISSMANN, C.B.; OLISZESKI, A.V. Variability of vessel characteristics in xylem of *Ilex paraguariensis* (mate-tree) from south Brazil. **Iawa Journal**, Leiden, v.25, n.4, p.449-458. 2004.
- FAN, X.; CAO, K.F.; BECKER, P. Axial and radial variations in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. **Iawa Journal**, Leiden, v.30, n.1, p.1-13, 2009.
- FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z.; LIMA, I.L.; LONGUI, E.L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v.21, n.1, p.79-91, 2009.
- FUJIWARA, S.; SAMESHIMA, K.; KURODA, K.; TAKAMURA, N. Anatomy and properties of Japanese hardwoods I. Variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.12, n.1, p.419-424, 1991.
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.3, n.10, p.219-332, 1989.
- GARCIA, M.F.; FLORSHEIM, S.M.B.; LIMA, I.L.; LONGUI, E.L. Variação radial da densidade básica e comprimento de fibras de diferentes procedências de *Cariniana legalis* Lecythidaceae. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, v.40, p.75-80, 2009.
- GONÇALVES, C.A.; LELIS, R.C.C. Teores de taninos da casca e da madeira de cinco leguminosas arbóreas. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.167-73, 2001.
- KOPAČ, J.; ŠALI, S. Wood: an important material in manufacturing technology. **Journal of Materials. Processing Technology**, Amsterdam, v.133, n.1/2, p.134-142, 2003.
- LIMA, I.L.; FLORSHEIM, S.M.B.; AGUIAR, O.T. Variação radial da densidade celulares de *Cupania vernalis* Camb. da Serra da Cantareira/SP. In ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: EBRAMEM, 2008.
- LONGUI, E.L. **Pau-brasil e outras espécies nativas empregadas na confecção de arcos para instrumentos de corda: um estudo comparativo**. 2005. 75p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade vegetal e meio ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2005.

- LONGUI, E.L.; LIMA, I.L.; FLORSHEIM, S.M.B.; BUFOLO, A. Variação anatômica radial do lenho de açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) e sua influência na densidade aparente. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v.21, n.2, p.181-190, 2009.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras 1791**. 2ed. São Paulo: IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989, 418p.
- MATSUNAGA, M.; SUGIYAMA, M.; MINATO, K.; NORIMOTO, M. Physical and mechanical properties required for violin bow materials. *Holzforschung*, Berlin, n.50, p.511-517, 1996.
- MINATO, K.; SAKAI, K.; MATSUNAGA, M.; NAKATSUBO, F. The vibrational properties of wood impregnated with extractives of some species of Leguminosae. *Mokuzai Gakkaishi*, Tóquio, n.43, p.1035-1037, 1997.
- MORI, A.F.; MENDES, M.L.; TRUGILHO, F.P.; CARDOSO, G.M. Utilização de Eucaliptos e de Madeiras Nativas no Armazenamento da Água Ardente de Cana-de-Açúcar. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.3, n.23, p.396-400, 2003.
- NEGREIROS, O.C., CARVALHO, C.T., CESAR, S.F., DUARTE, F.R., DESHLER, W.O.; THELEN, K.D. Plano de Manejo para o Parque Estadual da Cantareira. *Boletim Técnico do Instituto Florestal*, São Paulo, n.10. 1974.
- OBATAYA, E.; NORIMOTO, M.; GRILL, J. The effects of adsorbed water on dynamic mechanical properties of wood. *Polymer Journal*, Tokio, v.14, n.39, p.3059-3064. 1998.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology: structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the United States and Canada**. 3.ed. Nova York: McGraw-Hill, 1964. 643p.
- PETTERSEN, R.C. The Chemical composition of Wood. In: Rowell, R.M., (Ed.). **The chemistry of solid wood. Advances in chemistry series 207**. Washington DC: American Chemical Society, 1984. 126p.
- QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). *Iawa Journal*, Leiden, n.27, p.243-254, 2006.
- ROSA, C.A.B. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose Kraft**. 2003. 150p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- SANTOS, I.D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do Cerrado**. 2008. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- SAKAI, K.; MATSUNAGA, M.; MINATO, K.; NAKATSUBO, F. Effects of impregnation of simple phenolic and natural polycyclic compounds on physical properties of wood. *Journal of Wood Science*, Amsterdam, v.45, n.3, p.227-232, 1999.
- SASS, J.E. **Botanical Microtechnique**. Ames: The Iowa State College Press, 1951. 326 p.
- SILVA, J.C.; MATOS, J.L.M.; OLIVEIRA, J.T.S.; EVANGELISTA, W.V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Revista Árvore*, Viçosa, v.3, n.29, p.455-460, 2005.
- SILVEIRA, V.; S.C.S.; TRUGILHO, P.F.; CARVALHO, D.; MARTINS, S.C. Variação dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes espaçamentos. *Revista Cerne*, Lavras, v.5, n.2, p.105-124, 1999.
- SUCKOW, I.M.S.; LONGUI, E.L.; LIMA, I.L.; FLORSHEIM, S.M.B.; AGUIAR, O.T. Anatomia da madeira e densidade básica de angico-branco *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Instituto Florestal Série Registros*, São Paulo, v.40, p.131-135, 2009.
- TAPPI. T222 om-98 - Acid-insoluble lignin in wood and pulp. **TAPPI Test Methods**, Norcross, USA, 1998.
- TEIXEIRA, B.M. **Variabilidade radial e longitudinal de propriedades da madeira de Angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) speng.)**. 2008. Tese (Pós-Graduação em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

- TESTONI, L.N.; LONGUI, E.L.; LIMA, I.L.; FLORSHEIM, S.M.B.; MELO, A.C.G. Anatomia, densidade aparente e velocidade de propagação do som na madeira de *Plathymenia reticulata*. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, v.40, p.125-130, 2009.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BARRICHELO, L.E.C.; COSTA, J.C. Análise da madeira de compressão em *Pinus oocarpa* e *Pinus strobus* var. *chiapensis*. composição química. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.31, p.69-73. 1985.
- TRUGILHO, P.F.; VITAL, B.R. Correlação canônica entre algumas características físicas, químicas e anatômicas e a variação dimensional da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.20, n.4, p.515-533, 1996.
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v.2, n.2, p.94-111. 1996.
- URBINATI, C.V.; AZEVEDO, A.A.; MONTEIRO DA SILVA, E.A.; LISBOA, P.L.B. Variação estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. **Acta botânica brasileira**, São Paulo, v.17, n.3, p.421-437. 2003.
- VEENIN, T.; FUJITA, M.; NOBUCHI, T.; SIRIPATANADILOK, S. Radial variations of anatomical characteristics and specific gravity in *Eucalyptus camaldulensis* clones. **Iawa Journal**, Leiden, v.26, n.3, p.353-361, 2005.
- WIEMANN, M.C.; WILLIAMSON, G.B. Radial gradients in the specific gravity of wood in some tropical and temperate trees. **Forest Science**, Bethesda, v.35, p.197-210. 1989.
- WILKES, J. Variations of wood anatomy within species of *Eucalyptus*. **IAWA Bulletin**, Leiden, n.9, p.13-23, 1988.
- ZANON, B.R.; LONGUI, E.L.; FLORSHEIM, S.M.B.; LIMA, I.L. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares de *Croton floribundus* Spreng. na Serra da Cantareira, SP. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, n.36, p.25-29, 2008.
- ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN J.V. **Wood variation, its causes and control**. Springer, Berlin: Springer, 1989. 363 p.

Recebido em 21/10/2009

Aceito para publicação em 19/05/2010

