

Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica

Radial variation of the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* trees from different climatic and management conditions in Costa Rica

Róger Moya Roque¹ e Mario Tomazello Filho²

Resumo

As avaliações do efeito das condições climáticas e da intensidade de manejo florestal no lenho das árvores de *Gmelina arborea* Linn. Roxb. são restritas às suas propriedades físico-mecânicas e utilização. O presente trabalho tem como objetivo estudar as variações radiais da anatomia do lenho das árvores de gmelina amostradas em plantações de 30 sítios na Costa Rica, caracterizados por duas condições climáticas (tropical seco e úmido) e três intensidades de manejo florestal (intensivo, moderado e sem manejo). Os resultados das análises demonstraram a existência de variação radial dos diferentes parâmetros anatômicos, exceto para o diâmetro do lume das fibras e vasos múltiplos, no lenho das árvores de gmelina. Para os elementos anatômicos do lenho, fibras (largura, diâmetro do lume, comprimento), vasos (vasos múltiplos, diâmetro e frequência) e parênquima radial (altura) observaram-se relações com o clima (tropical úmido e seco). As variações radiais das dimensões dos elementos anatômicos do lenho foram, também, influenciadas pelas condições de manejo das árvores das plantações de gmelina.

Palavras-Chave: *Gmelina arborea*, Anatomia do lenho, Variação radial, Manejo florestal

Abstract

The evaluations of the effect of the climatic conditions and of the intensity of forest management in the trunk of the *Gmelina arborea* Linn. Roxb. trees are restricted to its physical-mechanical properties and use. The present work has as objective to study the radial variations of the wood anatomy of the gmelina trees sampled in plantations of 30 sites in Costa Rica, characterized by two climatic conditions (tropical dry and humid) and three intensities of forest management (intensive, moderate and without management). The results of the analyses demonstrated the existence of radial variation of the different anatomical parameters, except for the fiber lumen diameter and multiple vessels in the wood of the gmelina trees. For the wood anatomical elements, fibers (width, lumen diameter, and length), vessels (multiple vessels, diameter and frequency) and radial parenchyma (height) relationships were observed with the climate (tropical humid and dry). The radial variations of the wood anatomical elements were, also, influenced by the management regimes of the gmelina trees.

Keywords: *Gmelina arborea*, Wood anatomy, Radial variation, Forest management

INTRODUÇÃO

As árvores de *Gmelina arborea* Linn. Roxb. (gmelina) são utilizadas nos projetos de reflorestamento na Costa Rica, visando à produção de madeira sólida para serraria, de painéis e madeira para embalagem (MOYA ROQUE, 2004). Em vastas regiões tropicais de diferentes países tem sido, da mesma forma, amplamente plantada para a produção de madeira para lenha, celulose e papel, painéis, madeira sólida etc. (LAURIDSEN e KJAER, 2002; DVORAK, 2004). Em relação à estrutura anatômica do lenho das árvores de gmelina

na têm sido observadas variações que podem afetar a qualidade e propriedades da madeira e sua utilização racional e sustentada (DVORAK, 2004). Das inúmeras causas de variação da estrutura anatômica do lenho de árvores de espécies de plantações florestais para fins industriais mencionam-se os fatores sem controle (ex.: sítios de crescimento, condições ecológicas etc.) e os que apresentam determinado grau de controle (ex.: manejo florestal, adubação, material genético, idade de corte etc.) (ZOBEL e VAN BUIJTENEN, 1989).

As variações da estrutura anatômica do lenho das árvores de gmelina da Costa Rica, em função

¹Pesquisador da Escuela de Ingeniería Forestal do Instituto Tecnológico de Costa Rica - Apartado 159-7050 - Cartago - Costa Rica - E-mail: rmoya@itcr.ac.cr

²Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: mtomazel@esalq.usp.br

das condições climáticas, taxas de crescimento e condições ecológicas, têm sido recentemente reportadas (MOYA ROQUE e TOMAZELLO FILHO, 2007; MOYA ROQUE e TOMAZELLO FILHO, 2008; MOYA ROQUE *et al.*, 2007).

As informações das variações radiais dos elementos anatômicos do lenho das árvores de *gmelina* disponíveis na literatura referem-se, principalmente, a um restrito número de amostras de madeira e a reduzidos elementos anatômicos analisados (HUGHES e ESAN, 1969; OHBAYASHI e SHIOKURA, 1989; NOBUCHI *et al.*, 1997; FRIMPONG-MENSAH, 1992). Os resultados destas pesquisas demonstram a necessidade de avaliações detalhadas e completas da estrutura anatômica do lenho incluindo todos os seus elementos anatômicos e dimensões.

Pelo exposto, o presente trabalho tem como objetivos estudar a variação radial dos parâmetros anatômicos do lenho (fibras, vasos, pa-

rênquima radial e longitudinal) de árvores de *Gmelina arborea* procedentes de duas regiões climáticas (tropical seco e úmido) e submetidas a três regimes de manejo florestal (intensivo, moderado e sem manejo) na Costa Rica.

MATERIAL E MÉTODOS

Locais e tratamentos silviculturais

Foram amostradas 30 árvores de *gmelina* de duas regiões climáticas (clima tropical seco e úmido) da Costa Rica. Em cada região foram selecionadas 15 árvores em diferentes sítios e submetidas a três regimes de manejo, sendo intensivo (MI), intermédio (MM) e sem manejo (SM) (Tabela 1). As descrições detalhadas das condições climáticas e dos regimes de manejo florestal são descritas por Moya Roque e Tomazello Filho (2008) e Moya *et al.* (2008).

Tabela 1. Regiões climáticas, manejo florestal e caracterização das árvores de *gmelina*.
Table 1. Climatic regions, forest management and characterization of *gmelina* trees.

Região climática	Tipo de manejo	Número da árvore	Altitude (m)	Densidade de plantio (n ha ⁻¹)	Diâmetro altura do peito (cm)	Taxa de crescimento (cm/ano)	Altura total (m)	Idade (anos)
Tropical úmido	Intensivo	1	54	159	38,0	4,22	15,5	9
		2	47	300	31,5	3,94	22,0	8
		3	55	191	33,2	3,32	18,5	10
		4	100	223	32,0	4,00	23,5	8
		5	-	127	30,7	3,41	18,0	9
	Moderado	6	320	659	25,0	3,13	19,0	8
		7	90	477	28,5	3,56	22,5	8
		8	94	350	25,2	3,15	21,4	8
		9	93	446	30,0	3,75	23,2	8
		10	250	505	28,3	2,83	24,0	10
	Sem manejo	11	330	732	24,0	2,67	21,8	9
		12	202	1032	21,5	2,69	21,5	8
		13	22	764	21,0	1,91	19,1	11
		14	110	891	24,1	2,41	15,0	10
		15	86	1496	24,3	2,03	20,0	12
Tropical seco	Intensivo	1	-	318	31,9	3,19	20,8	10
		2	117	350	29,8	2,71	19,5	11
		3	38	223	32,5	2,71	24,7	12
		4	374	344	30,5	3,05	24,0	10
		5	98	250	33,2	2,77	27,1	12
	Moderado	6	142	509	19,7	1,79	19,5	11
		7	92	477	22,5	2,50	23,3	9
		8	150	477	23,4	2,34	17,8	10
		9	484	605	23,5	2,61	18,5	9
		10	8	509	23,9	2,99	22,1	8
	Sem manejo	11	-	827	20,5	2,05	18,7	10
		12	67	732	18,8	2,09	19,0	9
		13	112	836	20,5	2,05	22,1	10
		14	265	796	20,7	2,07	18,3	10
		15	-	1025	20,2	2,24	22,0	9

Seleção das árvores e obtenção de corpos de prova de lenho

Nas plantações florestais foram selecionadas 30 árvores de gmelina, 15 para cada região climática (Tabela 1), com o diâmetro do tronco médio da parcela e isentas de tortuosidade, bifurcação e de sintomas de ataque de fungos e insetos. Na altura do DAP (1,30 m do solo) do tronco das árvores selecionadas foram cortadas seções transversais do lenho (3 cm de espessura), orientadas na direção norte-sul, nas quais foram demarcadas e cortadas amostras diamétrais (1 cm largura) e, em seguida, seccionadas em sua metade, resultando em duas sub-amostras. Nas sub-amostras de lenho, da posição superior e na orientação norte foram delimitados todos os anéis de crescimento e seccionados os seus lenhos iniciais para a avaliação das dimensões das fibras. Nas sub-amostras do lenho da posição inferior e na orientação norte foram demarcados e cortados cinco corpos de prova orientados nas seções transversal, longitudinal radial e tangencial, a 0, 25, 50, 75 e 100% do raio para a avaliação dos vasos, parênquima radial e longitudinal (Figura 1).

Preparo das lâminas histológicas e maceração do lenho

Para a maceração do lenho foi aplicado o método de Franklin, utilizando como solução macerante ácido acético e água oxigenada (1:1). No preparo das lâminas histológicas semi-permanentes do lenho de gmelina foram obtidas seções finas (15-20 μm) em micrótomo, montadas em lâminas de vidro, coradas com vermelho-congo e verde-iodo (1 min), aplicada gelatina glicerinada e cobertas com lamínula de vidro. O corante permite colorir as células do parênquima longitudinal em vermelho e determinar a sua área transversal (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951).

Avaliação da estrutura anatômica do lenho

As lâminas histológicas contendo as fibras dissociadas do lenho foram examinadas em microscópio ótico e coletadas as suas imagens através de câmara digital. Foram mensuradas 25 fibras conforme as normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989), sendo utilizadas as ampliações de 5 e 100x para o comprimento e largura-diâmetro do lume, respectivamente; a espessura da parede da fibra foi determinada pela diferença entre a largura e o diâmetro do seu lume dividido por dois.

As lâminas histológicas do lenho foram examinadas em microscópio ótico (25x) e coletadas as imagens de quatro regiões da sua seção transversal com câmara digital, determinando-se a sua área total, área ocupada pelos vasos, número de vasos isolados e com duas células, diâmetro tangencial dos vasos. Os parâmetros dos elementos de vaso determinados foram: diâmetro tangencial médio, percentagem da área de vasos (área ocupada pelos vasos na seção transversal), frequência dos vasos (vasos. mm^{-1}), porcentagem de vasos múltiplos (número de vasos com duas ou mais células em relação à quantidade de vasos totais).

Nas imagens digitais da seção transversal do lenho foi determinada a área ocupada pelos raios (parênquima radial); na seção longitudinal tangencial, a altura, a largura, o número de células em altura e em largura dos raios e a sua frequência (raios por milímetro); a porcentagem de área dos raios foi obtida pela relação área de raios em relação à área transversal.

Nas imagens digitais da seção transversal do lenho, divididas em quatro quadrantes, foram demarcadas e mensuradas as áreas do parênquima longitudinal e dos vasos, distinguíveis pela coloração de suas paredes pelos corantes vermelho-congo e verde-iodo. A porcentagem de parênquima foi determinada pela relação da sua área e dos demais elementos anatômicos nas seções transversais do lenho.

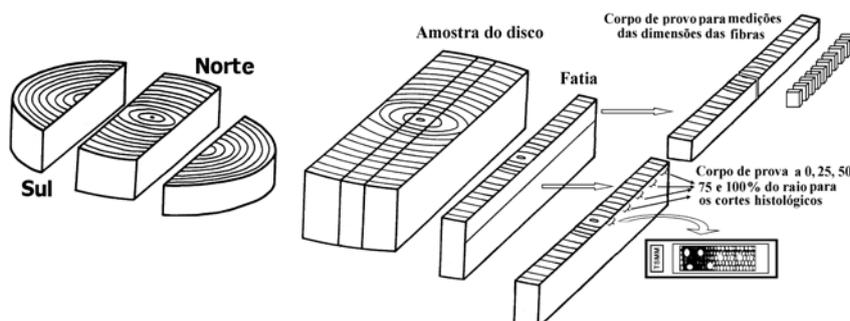


Figura 1. Corpos de prova para a avaliação da variação radial da anatomia do lenho das árvores de gmelina.
Figure 1. Wood samples to evaluate the radial variation of wood anatomy of gmelina trees.

Na avaliação das dimensões dos elementos anatômicos do lenho de gmelina foram aplicados dois programas de análise de imagem (i) Imagem-SAIM e (ii) Image Tool® desenvolvido pelo "Health Science Center/ Texas University", EUA.

Análises estatísticas

Foram utilizados os programas SAS (SAS, 1997) e STATISTICA. Inicialmente, conferiu-se a normalidade dos dados, sendo transformados os valores de frequência dos vasos. Em seguida, aplicou-se a análise de regressão na avaliação no sentido medula-casca dos elementos anatômicos do lenho, sendo o elemento anatômico considerado como variável dependente e a idade da árvore, fibras e a porcentagem do raio como variáveis independentes.

A análise de variância foi aplicada com o objetivo de estabelecer se a intensidade de manejo afeta os parâmetros anatômicos do lenho. O delineamento utilizado foi inteiramente aleatório (DIA) com esquema fatorial 2x3 (dois tipos de clima; três intensidades de manejo) com cinco repetições (árvores) para cada tratamento.

As tabelas de Frequência e teste de Kolmogorov-Smirnov foram utilizados na análise do número de células em largura e em altura dos raios por ser uma variável discreta; para avaliar a existência de diferenças na frequência de células dos raios em largura em altura nos dois tipos de climas foi aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov (FELLER, 1948).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de variação radial das dimensões das fibras indica, de modo geral, uma estabilidade após o sexto ano nas condições de clima tropical seco e úmido (Figura 2). As dimensões (espessura da parede, largura, comprimento) das fibras aumentam significativamente com a idade das árvores nos dois tipos de clima, embora o valor do coeficiente de determinação tenha sido baixo ($R^2 < 0,43$) (Figuras 2a,b,c). Para o diâmetro do lume das fibras verifica-se somente uma relação significativa com a idade das árvores no clima tropical úmido, mas com coeficiente de determinação muito baixo (Figura 2d). Assim, a pequena variação do diâmetro do lume das fibras (Figura 2d), indica que o aumento de sua largura (Figura 2b) deve-se ao aumento da espessura da parede (Figura 2a).

Os incrementos do comprimento, largura e espessura da parede das fibras com a idade são,

também, reportados na literatura (HUGHES e ESAN, 1969; AKACHUKU e BURLEY, 1979; OHBAYASHI e SHIOKURA, 1989; FRIMPONG-MENSAH, 1992) com maior intensidade na fase de formação da madeira juvenil (ZOBEL e SPRAGUE, 1998), quando, na fase seguinte, ocorre o envelhecimento das células do câmbio, resultando em modificações fisiológicas e moleculares no xilema (PLOMION *et al.*, 2001).

No lenho das árvores de gmelina das plantações sem manejo-clima tropical úmido as fibras mostram maior largura e diâmetro do lume em relação às do clima tropical úmido, em todos os anos (Figuras 3a,d); o comprimento das fibras é maior após o oitavo ano nas árvores sem manejo condição-clima tropical seco. Nas árvores submetidas ao manejo moderado, as diferenças na largura, diâmetro do lume e comprimento das fibras são menores em comparação com as do manejo intensivo, nos dois tipos de clima. A largura e o diâmetro do lume das fibras são maiores no clima tropical úmido no quinto ano (Figuras 3b,e) e para o comprimento das fibras nos sétimo e oitavo anos no clima tropical seco (Figura 3h). Embora a largura, diâmetro do lume e o comprimento das fibras sejam maiores nas árvores de gmelina das plantações com manejo intensivo-clima tropical úmido (Figuras 3c,f,i) as diferenças estatísticas são detectadas no sexto ano para o diâmetro (Figura 3f) e nos primeiro e sexto anos para o comprimento das fibras (Figura 3i).

Nas espécies florestais de clima temperado as variações na espessura da parede das fibras são induzidas pelo clima, sendo que no lenho inicial, formado na estação de crescimento, as fibras têm parede de espessura delgada em relação às de lenho tardio, formado no final do verão e início do outono. No entanto, nas espécies tropicais as variações das dimensões das fibras são pouco pesquisadas (RAO e RAJPUT, 1999; LIU e NOSHIRO, 2003).

O processo de formação da parede celular durante a xilogênese foi investigado por Larson (1994), com poucos avanços estabelecidos. Conforme as informações da literatura, não foram verificadas diferenças na espessura da parede das fibras de árvores de gmelina das plantações florestais dos climas tropical seco e úmido. Os resultados das análises indicam que as árvores de gmelina possuem mecanismos fisiológicos de adaptação às novas condições climáticas e de local, quanto as dimensões dos elementos anatômicos, como as fibras (MOYA *et al.*, 2007).

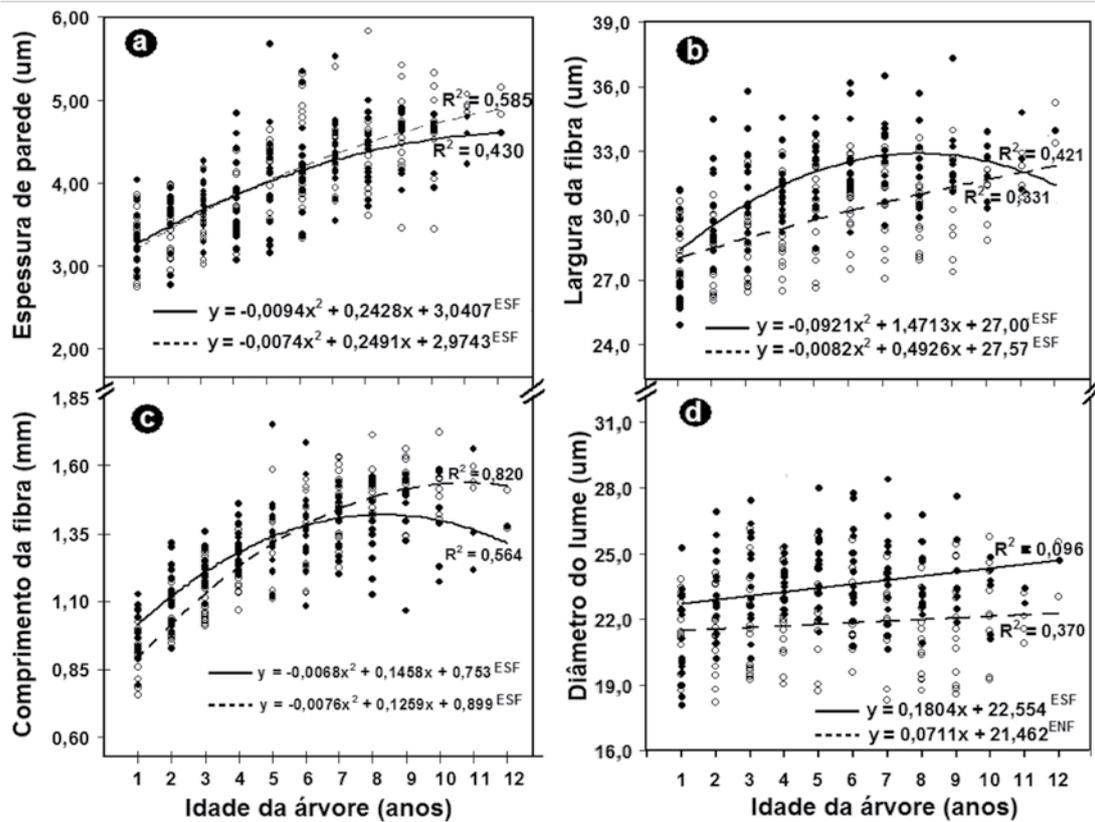


Figura 2. Variação radial das dimensões das fibras no lenho das árvores de gmelina.
 Legenda: ----- ○: clima tropical seco TS; —●: clima tropical úmido TU; ESF e ENF: estatisticamente
 significativa e não significativa a $\alpha=0,01$, respectivamente.

Figure 2. Radial variation of fiber dimensions in wood of gmelina trees.
 Legend: ----- ○: dry tropical climatic TS; —●: wet tropical climatic TU; ESF and ENF: statistically
 significant and not significant at $\alpha=0,01$, respectively.

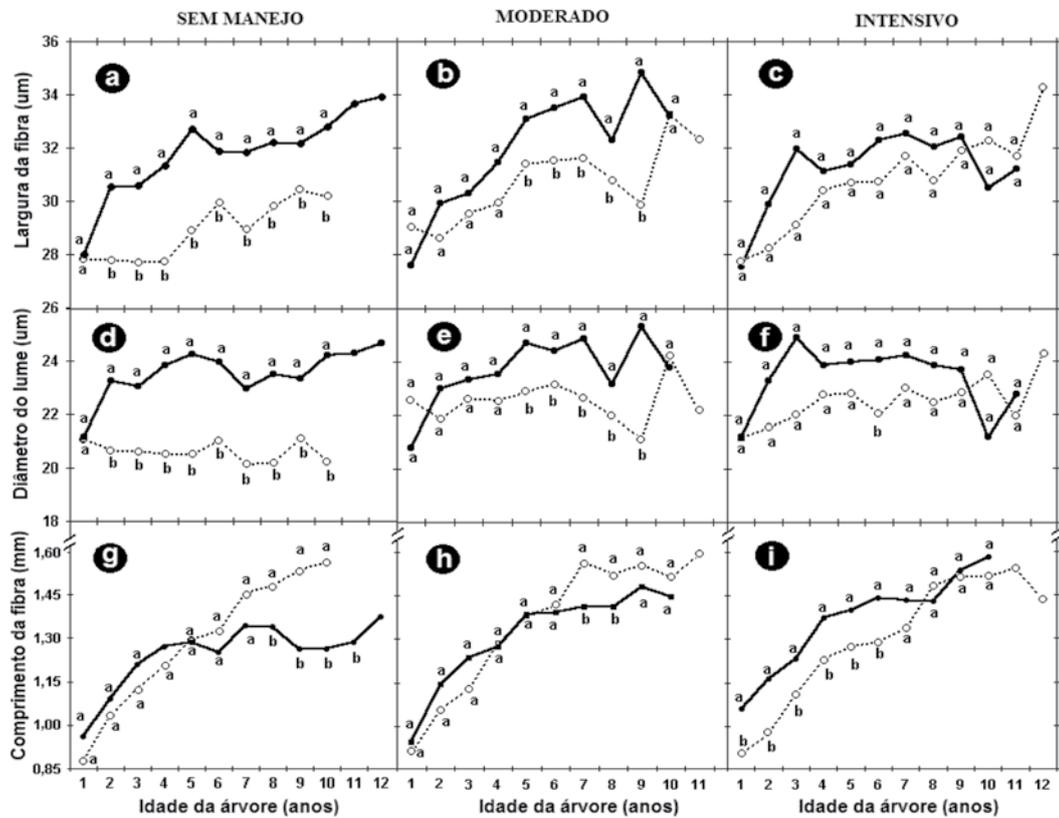


Figura 3. Variação radial das dimensões das fibras no lenho das árvores de gmelina nas três condições de manejo e duas condições de clima.

Figure 3. Radial variation of fiber dimensions in wood of gmelina trees in three management conditions and two climatic conditions.

As fibras de menor largura e de menor diâmetro do lume apresentam-se no lenho nas árvores de gmelina de clima tropical seco (Figuras 3b,d) em todas as condições de manejo (Figuras 4a-f), indicativo do seu processo de adaptação aos baixos níveis de precipitação média anual no clima tropical seco (Tabela 1). Algumas diferenças na largura e no diâmetro do lume das fibras no lenho das árvores de gmelina nos climas tropical seco e úmido e intensidades de manejo podem ser devidas aos níveis de precipitação mínimo e máximo e diferentes taxas de crescimento do tronco das árvores, sendo observado que as diferenças nas dimensões das fibras diminuem com o aumento da intensidade de manejo (Figuras 3a-f).

Observou-se para os elementos de vaso, no sentido radial das amostras do lenho das árvores, um aumento significativo na porcentagem de área (Figura 4a), no diâmetro (Figura 4b), redução da frequência (Figura 4c) e sem variação da porcentagem de vasos múltiplos (Figura 4d). Para a porcentagem de área de vasos no lenho (Figura 4a) ocorre uma diferença significativa entre os climas tropical seco e tropical úmido. Essas variações radiais no diâmetro, frequência e área de vasos (Figura 4b,c,d) foram verificadas por outros pesquisadores (AKACHUKU, 1985, NOBUCHI *et al.*, 1997, FRIMPONG-MENSAH, 1992 e OHBAYASHI e SHIOKURA, 1989).

Os vasos, como elementos do sistema vascular, apresentam-se em padrões de variação caracterizados pela (i) diminuição do diâmetro e da frequência com a altura do tronco das árvores, (ii) aumento do diâmetro e diminuição da frequência com a idade da árvore ou direção radial (ZIMMERMANN, 1974). O aumento do diâmetro do vaso com o envelhecimento da árvore é considerado uma adaptação anatômica do xilema para incrementar o volume de seiva mineral, aumentando a sua capacidade fotossintética (CARLQUIST, 1989).

O modelo de variação da porcentagem, diâmetro e frequência dos vasos no lenho de árvores de gmelina (Figuras 4a,b,c) é coincidente com o proposto por Alone e Zimmermann (1983). Os vasos múltiplos são comuns no lenho, com espécies arbóreas com vasos solitários e múltiplos variando de 1:5 até 5:1 (BAAS, 1982), sendo que no lenho das árvores de gmelina a relação entre vasos solitários e múltiplos é de 1:7 (Figura 4d). Os vasos múltiplos têm, em relação aos solitários, maior capacidade de condução da seiva mineral no xilema, por apresentar maior área transversal e difusão lateral da seiva através das pontoações (CARLQUIST, 1984 e BAAS, 1982). Domec e Gartner (2002) mencionam que as árvores na fase de formação do xilema, na sua idade juvenil, são mais susceptíveis ao estresse hídrico, necessitando formar vasos múltiplos para a redução do risco de embolia.

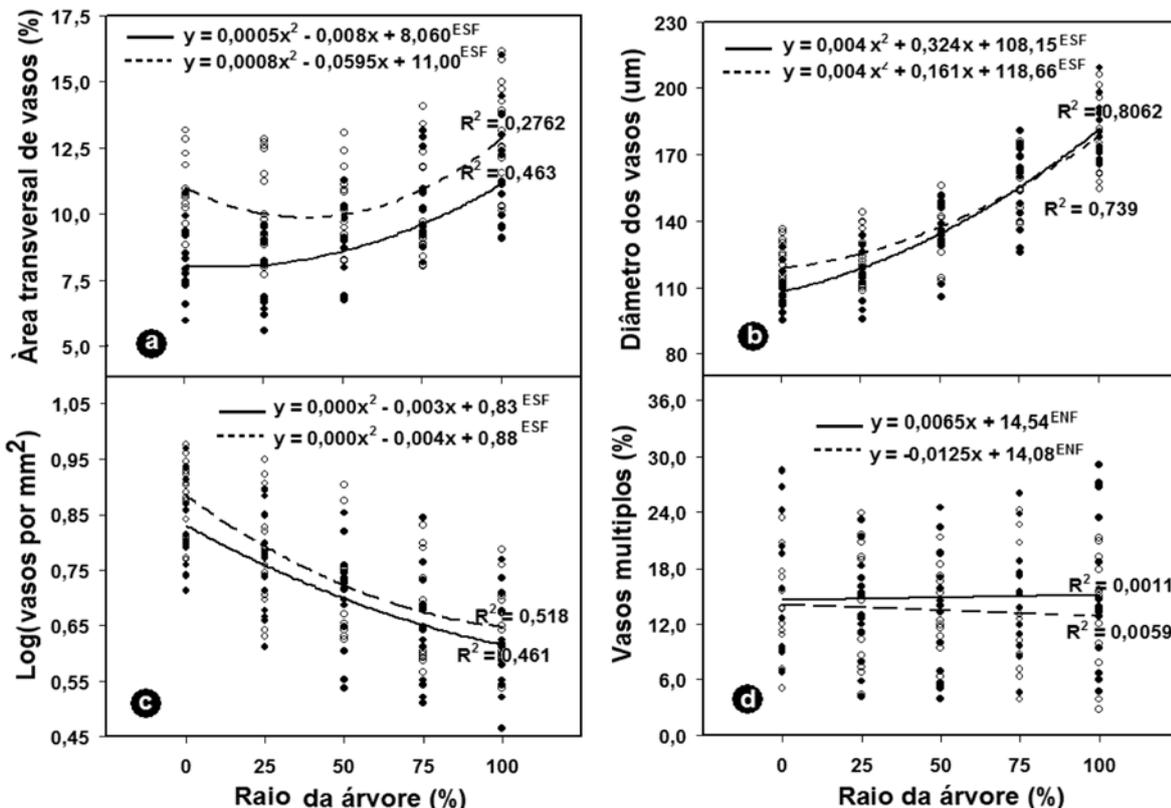


Figura 4. Variação radial das dimensões dos vasos no lenho das árvores de gmelina.
Figure 4. Radial variation of vessel dimensions in wood of gmelina trees.

Os vasos nas regiões do lenho próximas à medula e a 25% do raio das árvores de gmelina do clima tropical seco são de maior diâmetro, considerando os tratamentos manejo moderado e sem manejo florestal (Figuras 5b,c). Nas demais porcentagens do raio e árvores de gmelina com manejo intensivo as diferenças no diâmetro dos vasos não são significativas (Figura 5c). A porcentagem de área de vasos é maior no lenho das árvores de clima tropical seco em comparação com as de clima tropical úmido (Figuras 5d,e,f) até a 25% do raio, exceto nas árvores com manejo intensivo atingindo a 50% do raio (Figura 5d). Apesar das diferenças na variação radial da porcentagem de vasos múltiplos e frequência dos vasos (Figuras 5g-l) houve diferença estatística somente no tratamento de manejo moderado entre a medula-25% do raio (Figura 5k).

Os vasos são considerados como um dos elementos anatômicos do xilema das árvores com a maior capacidade de adaptação às condições ecológicas do sítio, representadas pela disponibilidade de água no solo e pela temperatura em zonas temperadas (BAAS, 1982; ZIMMERMANN, 1982; CARLQUIST, 1989).

Essas observações podem ser confirmadas pela diferenciação dos vasos formados no lenho, principalmente, nos primeiros anos de crescimento das árvores de gmelina nas condições dos climas tropical seco e tropical úmido nos três regimes de manejo. O diâmetro (Figuras 5a-c), porcentagem (Figuras 5d-f) e a frequência (Figura 5k) dos vasos são, em geral, maiores no clima tropical seco, com diferença estatística para algumas distâncias na direção medula-casca, indicando a capacidade de adaptação das árvores às condições ecológicas (CARLQUIST, 1989 e BAAS, 1982) nas condições de manejo.

As pesquisas sobre o efeito das condições ecológicas indicam o aumento do diâmetro, frequência e porcentagem dos vasos no lenho com a redução dos níveis de precipitação (BISSING, 1982; CARLQUIST, 1989; BAAS *et al.*, 2004) corroborando os resultados das análises obtidas com as árvores de gmelina. As alterações adaptativas dos vasos no xilema das árvores são atribuídas à necessidade de um sistema vascular eficiente e seguro para o fluxo de seiva mineral (BISSING, 1982; BAAS, 1982).

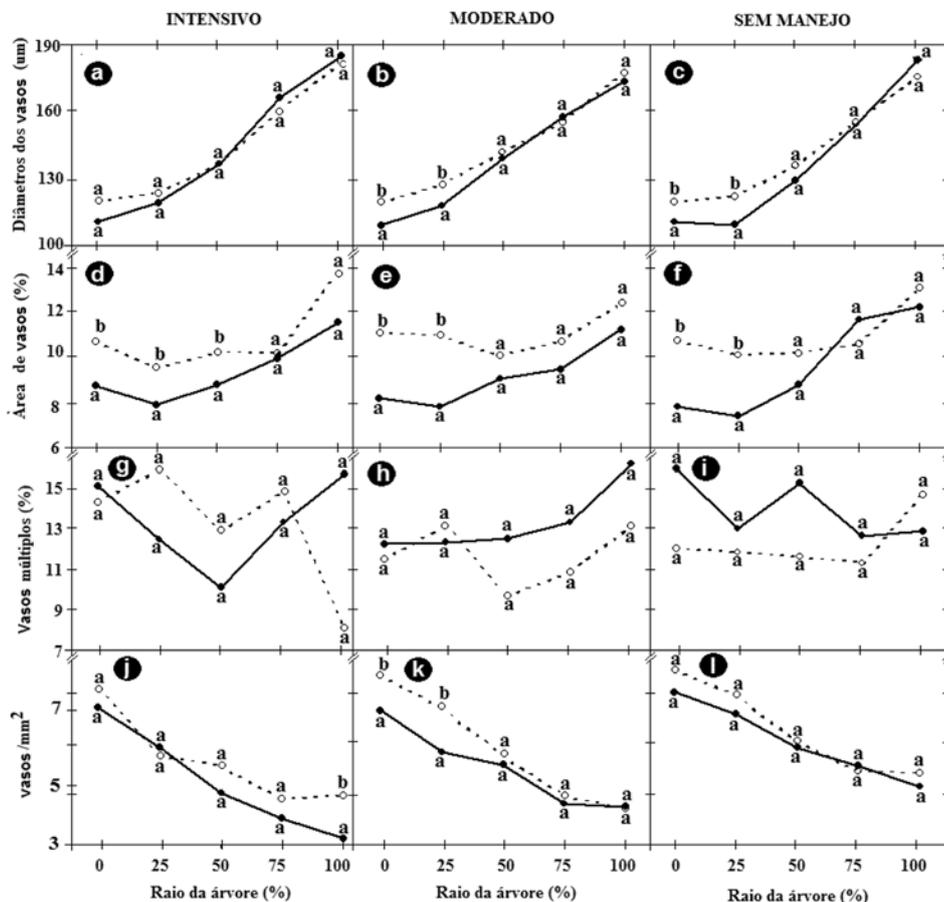


Figura 5. Variação radial das dimensões dos vasos no lenho das árvores de gmelina nas três condições de manejo e duas condições de clima.

Figure 5. Radial variation of vessels dimensions in wood of gmelina trees in three management conditions and two climatic conditions.

No sentido medula-casca do lenho das árvores de gmelina observou-se uma diminuição da porcentagem de lenho ocupado e a frequência dos raios (Figuras 6a,c) e aumento da altura e largura dos raios (Figuras 6b,d) nas duas condições climáticas da Costa Rica.

No lenho das árvores de gmelina os raios variam de duas a cinco células de largura (80% de três a quatro; 18% com duas; 5% com cinco células de largura); no clima tropical seco os raios com duas e quatro células ocorrem em menor e maior porcentagem, respectivamente (Figura 7a). Apesar da diferença no número de células dos raios em largura não houve comprovação estatística pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Para a altura dos raios as variações foram de quatro a vinte e cinco células, com maior frequência de oito a dezesseis células; no clima tropical seco verificou-se menor quantidade de raios com quatro a oito células de altura e maior quantidade de raios com treze a dezessete células em altura (Figura 7b), sendo as diferenças confirmadas entre os dois tipos de clima pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

As variações das dimensões do raio no lenho das árvores de gmelina: diminuição da

área (Figura 7a), aumento das dimensões (Figuras 7b,d) e diminuição da frequência (Figura 8c) são concordantes com as das espécies relacionadas por Lev-Yadun e Alone (1983), como *Pinus halepensis* e *Pinus pinea* (LEV-YADUN, 1998), *Acer sacharum* (GREGORY, 1977) e *Pseudotsuga menziesii* (GARTNER *et al.*, 2000). Alone e Zimmermann (1983) anotam que as variações no sentido medula-casca dos raios no lenho ocorrem em resposta a um decréscimo do nível de auxinas em relação ao aumento da idade das árvores.

Foram observadas poucas diferenças estatísticas nas dimensões, frequência e porcentagem da área transversal do parênquima radial nos regimes de manejo (Figuras 8a-i). No lenho das árvores de gmelina das plantações de manejo intensivo-clima tropical úmido a altura dos raios é maior, em comparação com as de clima seco, próximo à casca (Figura 8a). No lenho das árvores de gmelina das plantações com manejo moderado e sem manejo florestal, os raios mostram maior altura no clima tropical seco, em relação ao tropical úmido; sendo, no entanto, estatisticamente superiores a 50 e 100% no manejo moderado (Figura 8b) e 75 e 100% nas plantações sem manejo (Figura 8c).

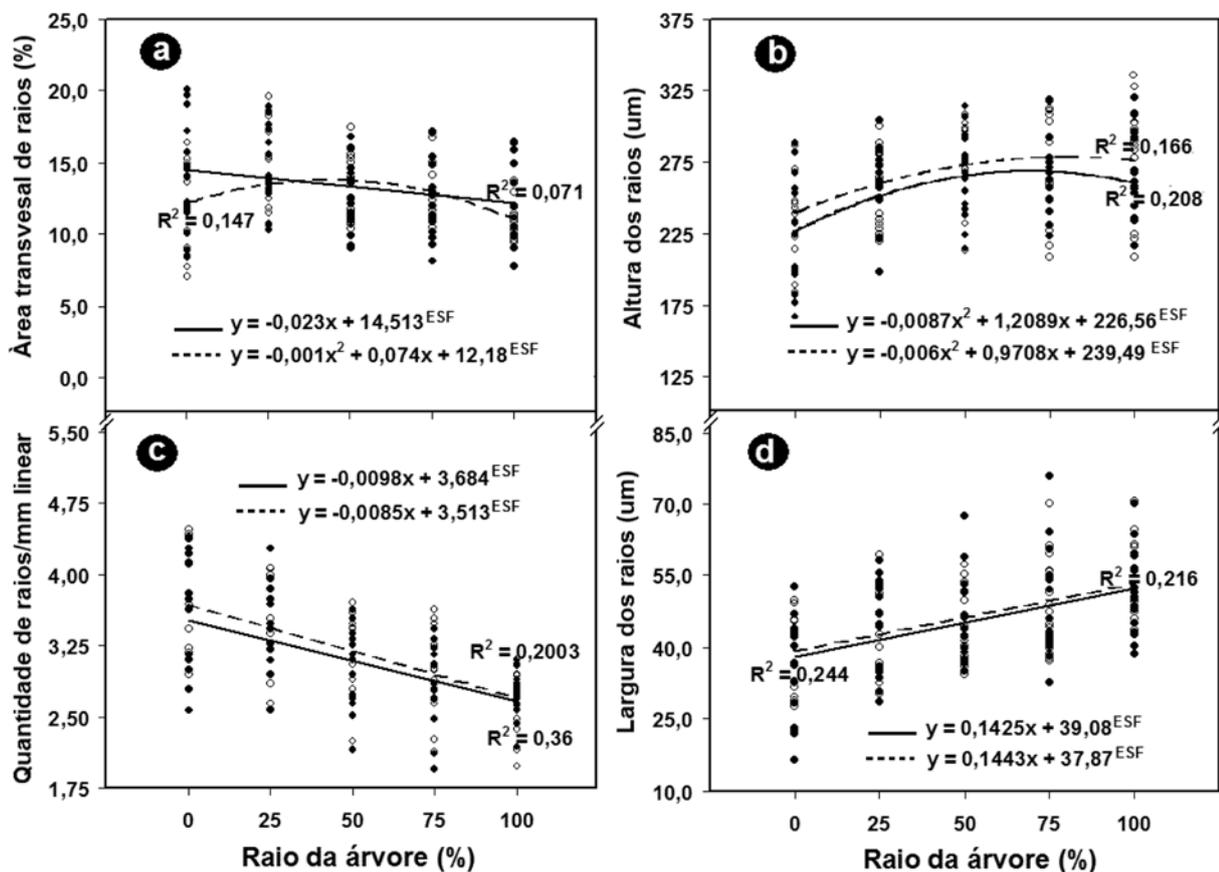


Figura 6. Variação radial das dimensões, composição e frequência dos raios no lenho das árvores de gmelina.
Figure 6. Radial variation of ray dimensions, composition and frequency in wood of gmelina trees.

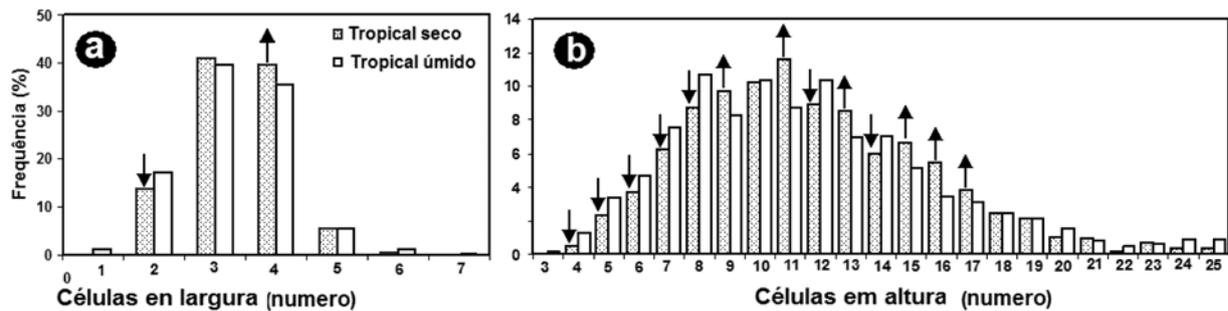


Figura 7. Distribuição da freqüência do número de células dos raios no lenho das árvores de gmelina. (As setas indicam a variação estatística no clima tropical seco em relação ao tropical úmido).

Figure 7. Distribution of frequency of the ray cell number in wood of gmelina trees. (The arrows indicate a statistical variation between dry tropical and wet tropical climates).

Para a largura dos raios não são encontradas diferenças no lenho das árvores nas duas condições climáticas das plantações sem manejo (Figura 8f). No entanto, no lenho das árvores de gmelina sob manejo intensivo os raios apresentam maior largura nas condições de clima tropical seco, exceto no lenho próximo à casca, sem diferença significativa (Figura 8d). No lenho das árvores de gmelina das plantações com manejo moderado-clima tropical seco a largura do raio é maior e significativa a 0, 25 e 75% do raio (Figura 8e). A porcentagem da área dos raios no lenho das árvores de gmelina nos climas tropical seco e úmido varia com a distância medula-casca e regime de manejo florestal. No clima tropical úmido-manejo moderado até a posição intermediária do lenho, no sentido medula-casca, existe uma maior porcentagem de área dos raios (Figuras 8h).

As árvores de gmelina, sob manejo mínimo e moderado, apresentam diferenças no lenho próximo a casca (Figura 8h,i) e as árvores sem manejo a 75% do raio (Figura 8j). A freqüência de raios é estatisticamente maior no lenho das árvores do clima tropical seco até 50% da distância medula-casca (Figura 8j) e árvores sem manejo a 50-75% (Figura 8k), sendo encontrada diferença estatística para o número de raios a 25% da medula-casca no lenho das árvores sob manejo moderado, maior no clima tropical úmido em relação ao seco (Figura 8k).

A literatura indica que o parênquima radial é o tecido mais estável no lenho das árvores (BIS-SING, 1982) corroborando com os resultados das árvores de gmelina nas duas condições de clima e determinadas condições de manejo. Observaram-se diferenças no lenho das árvores dos climas tropical seco e úmido, sendo a mais significativa nas árvores das plantações sem manejo.

No sentido radial das amostras de lenho das árvores de gmelina houve um significativo aumento da porcentagem de parênquima longi-

tudinal (8 para 12% e de 10-16% na região da casca) nas duas condições de clima (Figura 9a), sendo o mesmo obtido para a porcentagem e diâmetro dos vasos (Figuras 4a,b).

As variações do parênquima longitudinal e relação com os vasos no lenho das árvores de gmelina foram estudadas por Chodhury (1947), Chodhury (1953) e Pearson e Brown (1932) sem aplicar metodologia quantitativa, impossibilitando a comparação com a pesquisa. No entanto, no lenho de árvores de *Aspidosperma quebracho* (MOGLIA e LÓPEZ, 2001) verifica-se uma diminuição da porcentagem de parênquima longitudinal no sentido radial, resultado diferente do obtido nas árvores de gmelina das plantações de rápido crescimento.

No lenho de árvores de *Shorea leprosula* e *S. parvifolia* (BOSMAN *et al.*, 1994) e de *Eucalyptus camaldulensis* (PISUTTIPICHED *et al.*, 2003) é constante a variação radial da porcentagem de parênquima longitudinal. No lenho de árvores de *Quercus garryana* (LEI *et al.*, 1996) e *Tectona grandis* (BHAT e PRIYA, 2004) observa-se, a exemplo das árvores de gmelina, um aumento radial da porcentagem de parênquima longitudinal, embora sete a dez por cento inferior ao encontrado em gmelina.

As diferenças em porcentagem de parênquima longitudinal são maiores no lenho de árvores de gmelina sob manejo intensivo, com maior quantidade de parênquima longitudinal nas árvores de clima tropical seco em relação ao úmido, em distância radial abaixo de 75% (Figura 9b).

No lenho de árvores de gmelina sob manejo moderado e sem manejo não houve diferença estatística (Figura 9c,d). Os resultados mostram uma inconsistência na quantidade do parênquima longitudinal nas condições de clima e intensidades de manejo, sendo maior no lenho das árvores de gmelina submetidas ao manejo intensivo (Figura 9c) em relação aos manejos intermediários e sem manejo (Figuras 9c,d).

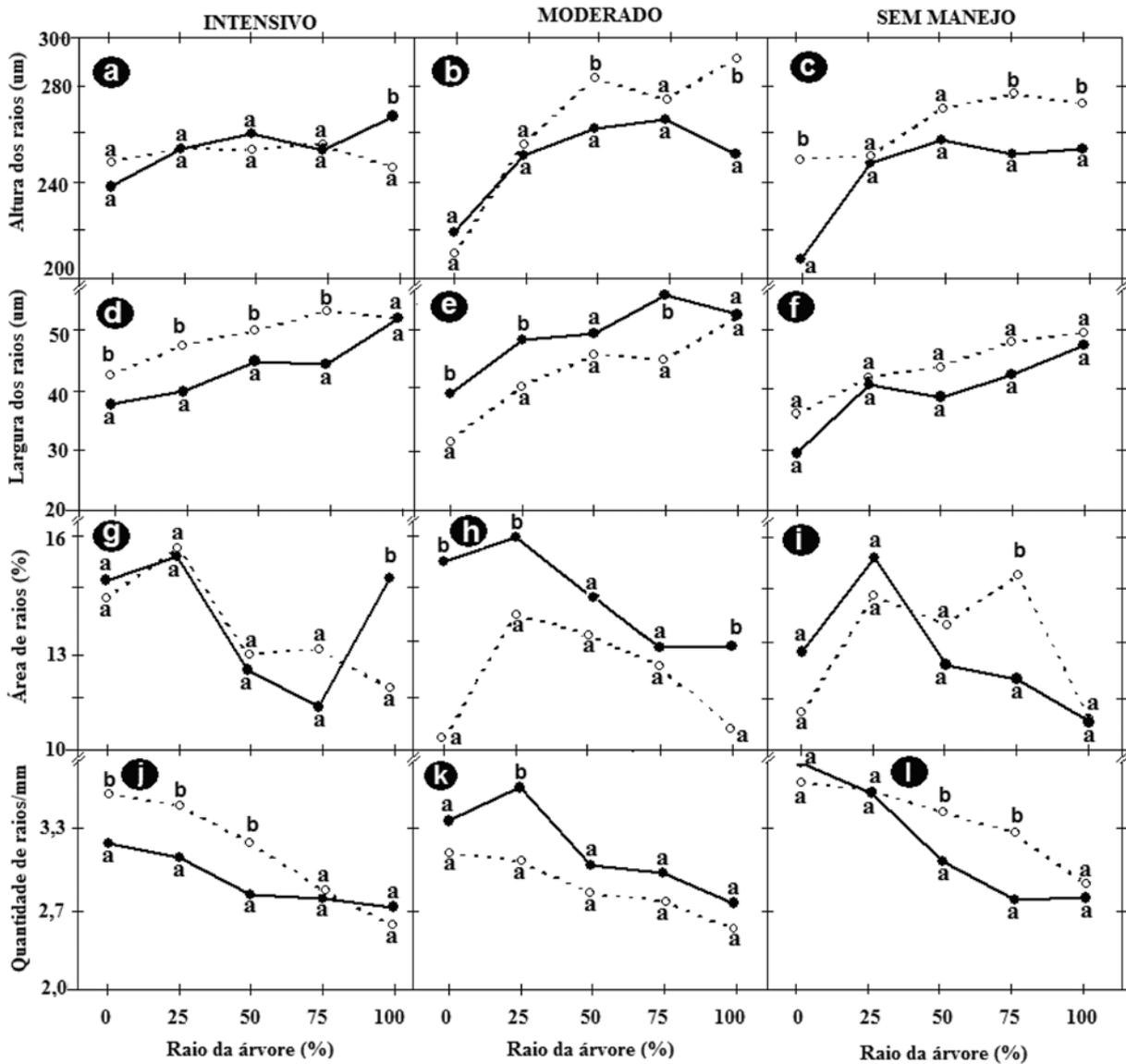


Figura 8. Variação radial das dimensões dos raios no lenho de árvores de gmelina em três regimes de manejo e duas condições de clima.

Figure 8. Radial variation of ray dimensions in wood of gmelina trees in three management regimes and two climatic conditions.

As mesmas inconsistências para o parênquima longitudinal são encontradas por Hill (1982) no lenho de árvores de *Carya glabra*, em diferentes condições climáticas. No lenho de árvores de *Celtis*, *Juglans*, *Populus* e *Umbellularia* crescendo na Califórnia, EUA, Bissing (1982) não observou relações entre a disponibilidade da água e o tipo de parênquima associado aos vasos. Os pesquisadores sugerem que o padrão de distribuição e a quantidade de parênquima longitudinal no lenho das árvores são influenciados pela umidade e pela frequência, distribuição e

agrupamento dos vasos. De fato, os resultados evidenciam que no lenho das árvores de gmelina a quantidade de parênquima longitudinal paratraqueal aumenta no sentido radial nos regimes de manejo e no total das árvores (Figuras 9a). Na mesma tendência verifica-se a variação do diâmetro e porcentagem dos vasos (Figuras 4a), embora as diferenças dos dois parâmetros dos vasos não sejam congruentes com as encontradas para o parênquima nas condições de manejo, indicando a influência de outros fatores não avaliados.

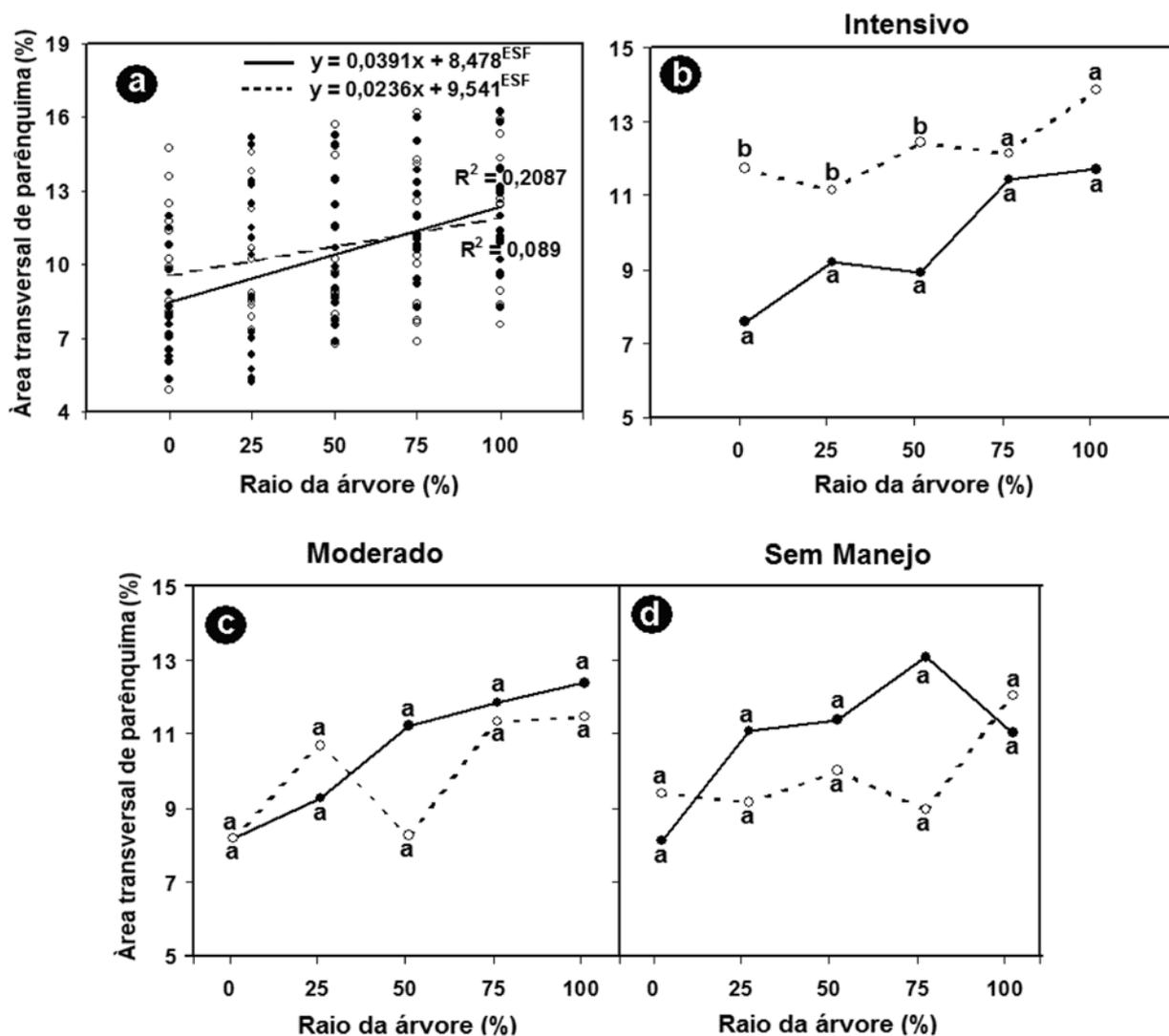


Figura 9. Variação radial da porcentagem de parênquima longitudinal no lenho de árvores de gmelina em três regimes de manejo e duas condições climáticas.

Figure 9. Radial variation of percentage of axial parenchyma in wood of gmelina trees in three management regimes and two climatic conditions.

CONCLUSÕES

Os resultados das análises da variação radial dos elementos anatômicos do lenho das árvores de gmelina de plantações florestais da Costa Rica permitem verificar um aumento na dimensão das fibras (comprimento, largura, espessura da parede), dos vasos (porcentagem de área, diâmetro), do parênquima longitudinal (porcentagem de área) e radial (altura e largura) nas duas condições de clima e três intensidades de manejo; redução da frequência e da porcentagem dos vasos e da frequência dos raios e sem variação do diâmetro do lume das fibras, da porcentagem de vasos múltiplos e do número de células em largura e altura do raio.

As variações radiais das dimensões dos elementos anatômicos do lenho são afetadas pelas

condições de manejo florestal das árvores das plantações: a largura e diâmetro do lume das fibras são maiores no clima tropical úmido em relação ao tropical seco, com aumento em relação à intensidade de manejo; o diâmetro dos vasos é maior no clima tropical seco no lenho das árvores de gmelina sob manejo moderado e sem manejo, até 25% da medula-casca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKACHUKU, A.E. The effects of some extrinsic and intrinsic factors on the proportion of vessels in *Gmelina arborea* Roxb. **Wood Science and Technology**, New York, v.19, n.1, p.5-12, 1985.
- AKACHUKU, A.E.; BURLEY, J. Variation of anatomy of *Gmelina arborea* Roxb. in Nigerian plantations. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.4, p.94-99, 1979.

- ALONE, R.; ZIMMERMANN, M. The control of vessel size and density along the plant axis—a new hypothesis. *Differentiation*, Saint Paul, v.24, p.203-208, 1983.
- BAAS, P. Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy. In: BAAS, P. *New perspectives in wood anatomy: systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy*. Boston: Martinus Nijhoff/Dr. W.; London: Publishers Junk, 1982. p.23-58.
- BAAS, P.; WERKER, E.; FAHAN, A. Some ecological trends in vessel characters. *IAWA Journal*, Leiden, v.4, n.2/3, p.141-160, 2004.
- BHAT, K.M; PRIYA, P.B. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the Western Ghat region in Índia. *IAWA Journal*, Leiden, v.25, n.3, p.273-282, 2004.
- BISSING, D.R. Variation in qualitative anatomical features of the xylem of selected dicotyledon woods in relation to water availability. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, New York, v.109, n.3, p.371-384, 1982
- BOSMAN, M.T.; KORT, I.; GENDEREN, M.K.; BAAS, P. Radial variation of naturally and plantation grown light red meranti (*Shorea*, Dipterocarpaceae). *IAWA Journal*, Leiden, v.15, n.2, p.111-120, 1994.
- CARLQUIST, S. *Comparative wood anatomy: systematic ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 436p.
- CARLQUIST, S. Vessel grouping in dicotyledon woods: significance and relationship to imperforate tracheary elements. *Aliso*, Claremont, v.10, p.505-525, 1984.
- CHODHURY, K.A. Initial parenchyma cells in dicotyledonous. *Nature*, London, v.160, p. 609, 1947.
- CHODHURY, K.A. The role of initial parenchyma in the transformation of the structure diffuse-porous to ring-porous in the secondary xylem of the genus *Gmelina* Linn. *Proceedings of the National Institute of Sciences of India*, New Delhi, v.19, n.3, p.361-369, 1953.
- DOMEC, J.C.; GARTNER, B.L. Age- and position-related changes in hydraulic versus mechanical dysfunction of xylem: inferring the design criteria for Douglas-fir wood structure. *Tree Physiology*, Victoria, v.22, n.2-3, p.91-104, 2002.
- DVORAK, W.S. World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. *New Forests*, Amsterdam, v.28, n.2/3, p.111-126, 2004.
- FELLER, W. On the Kolmogorov-Smirnov limit theorems for empirical distributions. *Annals of Mathematics Statistics*, Beechwood, v.19, n.2, 177-189, 1948.
- FRIMPONG-MENSAH, K. Wood quality variation in the tree of some endemic tropical species. In: ALL DIVISION 5 CONFERENCE "FOREST PRODUCTS", 1992, Nancy. *Working sessions*. Lorraine: International Union of Forestry Research Organizations, 1992. v.1, p.25-26.
- GARTNER, B.L.; BAKER, D.C.; SPICER, R. Distribution and vitality of xylem rays in relation to tree leaf area in Douglas-fir. *IAWA Journal*, Leiden, v.21, n.4, p.389-301, 2000.
- GREGORY, R.A. Cambial activity and ray cell abundance in *Acer saccharum*. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v.55, n.20, p.2559-2564, 1977.
- HILL, J.L. Spacing of parenchyma bands in wood of *Carya glabra* (Mill) Sweet, pignuthickory, as an indicator of growth-rate and climatic factors. *American Journal of Botany*, New York, v.69, n.4, p.529-537, 1982.
- HUGHES, J.F.; ESAN, D. Variation in some structural features and properties of *Gmelina arborea*. *Tropical Science*, London, v.11, n.1, p.23-37, 1969.
- IAWA - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, Leiden, v.10, n.3, p.226-332, 1989.
- JOHANSEN, D.A. *Plant microtechnique*. New York: MacGraw-Hill, 1940. 533p.
- LARSON, P.R. *The vascular cambium: development and structure*. Berlin: Springer-Verlag, 1994. 725p.
- LAURIDSEN, E.B.; KJAER, E.D. Provenance research in *Gmelina arborea* Linn. Roxb.: a summary of results from three decades of research and a discussion of how to use them. *International Forestry Review*, Bicester, v.4, n.1, p.20-29, 2002.
- LEI, H.; GARTNER, B.L.; MILOTA, M.R. Effect of growth rate on the anatomy, specific gravity, and bending properties of wood from 7-year-old red alder (*Alnus rubra*). *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v.27, n.1, p.80-85, 1996.

- LEV-YADUN, S. The relationship between growth-ring width and ray density and ray height in cell number in the earlywood of *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. **IAWA Journal**, Leiden, v.19, n.2, 131-139, 1998.
- LEV-YADUN, S.; ALONE, R. Differentiation of the ray system in woody plants. **Botanical Review**, Lancaster, v.61, n.1, p.45-84, 1983.
- LIU, J.; NOSHIRO, S. Lack of latitudinal trends in wood anatomy of *Dodonaea viscosa*. (Sapindaceae). **American Journal of Botany**, New York, v.90, n.4, p.532-539, 2003.
- MOGLIA, J.G.; LÒPEZ, C.R. Tendencias de variación radial del leño en *Aspidosperma quebracho*. **Investigaciones Agrarias: Sistema de Recursos Forestales**, Madrid, v.10, n.1, p. 69-80, 2001
- MOYA ROQUE, R. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. **New Forests**, Amsterdam, v.28, n.2/3, p.299-307, 2004.
- MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* trees at different ecological conditions in Costa Rica. **Revista Biología Tropical**, San José, v.56, n.2, p.689-704, 2008.
- MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M. Wood density and fiber dimensions of *Gmelina arborea* in fast growth trees in Costa Rica: relation to the growth rate. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v.16, n.3, p.267-276, 2007.
- MOYA ROQUE, R.; ARAYA, L.; VILCHEZ, B. Variation in the pith parameter of *Gmelina arborea* trees from fast growth plantations in Costa Rica. **Annals of Forest Science**, Nancy, v.65, n.6, p.612-621, 2008.
- MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.S. Variações na estrutura da anatomia do lenho de árvores de *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae) de clima tropical seco e úmido na Costa Rica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.75, p.65-75, 2007.
- NOBUCHI, T.; KAMI, C.; FUJITA, M. Radial variation of vessel and fiber dimensions in some plantation grown tropical trees as it relates to wood qualities. In: INTERNATIONAL TROPICAL WOOD "NEW TROPICAL TIMBER CROPS: CHALLENGES IN PROCESSING AND UTILIZATION", 1997, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Kuala Lumpur: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Forestry, 1997. p.81-101.
- OHYASHI, H.; SHIOKURA, T. Anatomical structure of fast-growing tropical tree species with differing growth rates. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p.342-343, 1989.
- PEARSON, R.S.; BROWN, H.P. **Commercial timber of India**. New Delhi: Government of India Central Publication Branch, 1932. 600p.
- PISUTTIPICHED, S.; RETULAINEN, E.; MALINEN, R.; KOLEHMAINEN, H.; RUHANEN, M.; SIRIPATTANADILOK, S. Effect of harvesting age on the quality of *Eucalyptus camaldulensis* bleached kraft pulp. **APPITA Journal**, Melbourne, v.56, n.5, p.385-390, 2003.
- PLOMION, C.; LEPROVOST, G.; STOKES, A. Wood formation in trees. **Plant Physiology**, Bethesda, v.127, p.1513-1523, 2001.
- RAO, K.S.; RAJPUT, K.S. Seasonal behavior of vascular cambium in teak (*Tectona grandis*) growing in moist deciduous and dry deciduous forests. **IAWA Journal**, Leiden, v.20, n.1, p.85-93, 1999.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT® user's guide: version 6.08**. Carrey, 1997. v.2 846p.
- SASS, J.E. **Botanical microtechnique**. 2.ed. Iowa: State College Press, 1951. 228p.
- ZIMMERMANN, M. Transport in the xylem. In: ZIMMERMANN, M.; BROWN, C.L. **Trees structure and function**. New York: Springer-Verlag, 1982. 365p.
- ZIMMERMANN, M. **Xylem structure and the ascent of sap**. New York: Springer-Verlag, 1974. 153p.
- ZOBEL, B.; SPRAGUE, S. **Juvenile wood in trees**. New York: Springer-Verlag, 1998. 367p.
- ZOBEL, B.; VAN BUIJTENEN, B. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer Verlag, 1989. 363p.

Recebido em 16/09/2008
Aceito para publicação em 21/07/2009

