



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



ANATOMIA DO LENHO DE CAULE E RAIZ DE PLANTAS
JOVENS DE *ENTEROLOBIUM CONTORTISILIQUUM*
(VELL.) MORONG (FABACEAE-MIMOSOIDEAE) CRESCENDO
EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDÁFICAS

TALITA DOS SANTOS ANGÉLICO

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Ciências Biológicas (Botânica), área de concentração Morfologia e Diversidade de Plantas.

BOTUCATU – SP

2010



unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"Júlio de Mesquita Filho"
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU

ANATOMIA DO LENHO DE CAULE E RAIZ DE PLANTAS
JOVENS DE *ENTEROLOBIUM CONTORTISILIQUUM*
(VELL.) MORONG (FABACEAE-MIMOSOIDEAE) CRESCENDO
EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDÁFICAS

TALITA DOS SANTOS ANGÉLICO

PROF.^a DR.^a CARMEN REGINA MARCATI

Orientadora

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Ciências Biológicas (Botânica), área de concentração Morfologia e Diversidade de Plantas.

Botucatu – SP

2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO – CAMPUS DE BOTUCATU – UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE

Angélico, Talita dos Santos.

Anatomia do lenho de caule e raiz de plantas jovens de
Enterolobium contortisiliquum (VELL.) Morong (Fabaceae-
mimosoideae) / Talita dos Santos Angélico. – Botucatu, 2010

Dissertação (mestrado) – Instituto de Biociências de Botucatu,
Universidade Estadual Paulista, 2010.

Orientador: Carmen Regina Marcati

Assunto CAPES: 20302002

1. Morfologia vegetal. 2. Madeira – Anatomia.

Palavras-chave: Anatomia da madeira; Caule; *Enterolobium
contortisiliquum*; Latossolo Vermelho Amarelo; Nitossolo Vermelho;
Raiz.

Dedicatória

A meu pai, que desde o início me incentivou a realizar este trabalho.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pela vida maravilhosa que me concede;
Ao Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu, por toda a estrutura e apoio proporcionados durante todo o período do curso de mestrado;
Ao Departamento de Recursos Naturais – Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu, e ao Laboratório de Anatomia da Madeira, ao Laboratório de Madeiras e ao Viveiro de Produção de Mudas Florestais, por toda a estrutura e apoio para que eu pudesse realizar minha pesquisa;
À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de mestrado concedida e pelo apoio financeiro;
À professora Carmen, minha orientadora e amiga, por toda a orientação, pelo aprendizado e paciência, e por acreditar em mim;
À professora Magali Ribeiro da Silva, pelas boas idéias, pela orientação na fase inicial do meu trabalho e apoio na fase de viveiro da minha pesquisa;
À professora Sílvia Machado, por ter me aceitado como mais uma responsabilidade sua, mesmo com tantas outras coisas importantes a fazer;
Aos funcionários da UNESP, sempre trabalhando pelo bom funcionamento da mesma, os quais me prestaram tantos favores;
Aos amigos do Departamento de Ciências Florestais e do Departamento de Botânica, pela amizade e por oferecerem as duas mãos quando eu precisava de uma mão para me ajudar;
À Liliane, técnica do Laboratório de Anatomia da Madeira, por todo apoio e auxílio, amizade e companheirismo;
Às colegas do Laboratório de Anatomia da Madeira, Júlia, Thaís, Marina, Mirella, Caroline, Kauana, Rafaela, Débora e Natália, pela boa convivência, com quem compartilhei bons momentos, às quais ajudei quando pude e pelas quais fui ajudada;
A meu pai, pela oportunidade que me ofereceu para estudar, por me apoiar incondicionalmente na busca por meus ideais e por acreditar em mim;
À minha mãe, pelos cuidados, pelo amor e por me defender tanto;
A minha amada irmã Thaíse, minha melhor amiga e confidente;
Ao meu amado esposo Cristiano Angélico, por todo o amor, carinho e compreensão;
A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho,
Muito obrigada!

SUMÁRIO

Resumo.....	1
Abstract.....	3
Introdução.....	5
Revisão bibliográfica.....	7
Capítulo 1: Anatomia do lenho de caule de plantas jovens de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosoideae) crescendo em diferentes condições edáficas	
Resumo.....	22
Abstract.....	23
Introdução.....	24
Material e métodos.....	25
Resultados.....	29
Discussão.....	34
Referências bibliográficas.....	41
Capítulo 2: Efeito de diferentes condições edáficas na estrutura anatômica do lenho de raiz e caule de plantas jovens de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosoideae)	
Resumo.....	47
Abstract.....	48
Introdução.....	49
Material e métodos.....	50
Resultados.....	56
Discussão.....	68
Referências bibliográficas.....	77
Considerações finais.....	82
Referências bibliográficas.....	83

ANGÉLICO, T. S. ANATOMIA DO LENHO DE CAULE E RAIZ DE PLANTAS JOVENS DE *ENTEROLOBIUM CONTORTISILIQUM* (VELL.) MORONG (FABACEAE-MIMOSOIDEAE) CRESCENDO EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDÁFICAS. 2009. 90 p. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, BOTUCATU.

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong., pertencente à família Fabaceae-Mimosoideae e conhecido popularmente como tamboril ou timbouva, apresenta crescimento rápido no campo e por esse motivo é utilizado em reflorestamento de áreas degradadas em plantios mistos. Estudo sobre a anatomia do lenho de caules de plantas de *E. contortisiliquum*, adultas e de mesma idade, revelou que plantas que cresceram sobre Nitossolo Vermelho (NV) apresentaram vasos de maior diâmetro e elementos de vaso mais compridos, fibras com diâmetro maior e paredes mais espessas e pontoações intervasculares com diâmetro maior, quando comparadas com plantas que cresceram em Latossolo Vermelho Amarelo (LVA). O presente trabalho simula em viveiro o crescimento das plantas desta espécie nas mesmas condições edáficas (NV e LVA), com a hipótese de que plantas produzidas em viveiro apresentem também variação na estrutura anatômica da madeira. Complementarmente, foram analisadas comparativamente as características anatômicas do lenho do caule e da raiz destas plantas que cresceram em condições controladas de viveiro. Para a realização deste estudo, coletou-se cada tipo de solo (NV e LVA) em 20 a 40 cm de profundidade, numa quantidade suficiente para encher vinte vasos de cinco litros cada. Dez vasos com cada um dos diferentes tipos de solos (NV e LVA) foram montados no Viveiro de Produção de Mudas Florestais da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, São Paulo. Sementes coletadas em campo foram colocadas para germinar após a quebra de dormência por escarificação mecânica com lixa seca. As plantas cresceram a pleno sol recebendo irrigações diárias e nenhum tipo de adubação. Medições mensais de altura e diâmetro dos caules foram realizadas durante os dois anos em que as plantas permaneceram em viveiro. Após esse período, amostras de caule e raiz foram coletadas e fixadas em FAA 70 e posteriormente armazenadas em etanol 70% no Laboratório de Anatomia da Madeira. Cortes histológicos do lenho de caule e raiz foram obtidos dos 3 planos (transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial) e lâminas histológicas permanentes foram confeccionadas. O material lenhoso foi dissociado e com ele foram preparadas lâminas semipermanentes. Foram analisadas as características anatômicas qualitativas e quantitativas do lenho. As plantas que cresceram em NV apresentaram maior crescimento em altura da parte aérea e diâmetro do caule quando comparadas com as que cresceram em LVA. As características anatômicas qualitativas do lenho de caule das plantas jovens de *E. contortisiliquum* apresentaram-se similares entre todos os indivíduos analisados, sem variar quando se comparou as plantas de NV com as plantas de LVA. De uma forma geral, o lenho de caule destas plantas caracteriza-se por: camadas de crescimento demarcadas por espessamento na parede das fibras e achatamento radial das fibras; porosidade difusa, vasos solitários e múltiplos de 2 a 30, e agrupamentos racemiformes; presença de elementos de vaso sem apêndice e com apêndices em uma ou ambas as extremidades; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e guarnecidas com contorno tendendo a poligonal; pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares; parênquima axial predominantemente vasicêntrico, eventualmente aliforme losangular, com confluências, constituído de 2 a 4 células por série;

parênquima radial homogêneo, constituído exclusivamente de células procumbentes, predominantemente unisseriados; fibras com paredes predominantemente finas, com pontoações diminutas a aparentemente simples; presença de fibras gelatinosas, de fibras com extremidade bifurcada e de fibras semelhantes a células do parênquima axial; grãos de amido em células do parênquima axial; cristais prismáticos formando séries cristalíferas em células do parênquima axial com até 21 cristais por série. Quantitativamente, houve diferenças significativas quando se comparou o lenho de caule das plantas jovens de NV com o lenho de caule das plantas jovens de LVA: as plantas de NV tiveram mais vasos por mm², fibras mais compridas e diâmetro maior de pontoações intervasculares e raiovasculares, e estas diferenças não foram as mesmas encontradas nas plantas adultas como era a hipótese do trabalho. As características anatômicas qualitativas do lenho de raiz das plantas jovens de *E. contortisiliquum* também apresentaram-se similares entre todos os indivíduos analisados, sem variar quando se comparou as plantas de NV com as plantas de LVA. As características anatômicas qualitativas do lenho de raiz destas plantas foram as mesmas já descritas para o lenho de caule das plantas jovens, exceto para a presença de cristais prismáticos, ausentes no lenho de raiz. Quantitativamente, houve diferenças significativas quando se comparou o lenho de raiz das plantas de NV com o lenho de raiz das plantas de LVA: as plantas de NV apresentaram elementos de vaso mais largos e vasos mais compridos e fibras com parede mais espessa e mais largas, além de diâmetro maior de pontoações raiovasculares. Comparando o lenho de caule com o de raiz, cristais prismáticos foram observados no lenho do caule, somente, e maior quantidade de fibras semelhantes ao parênquima foi observada no lenho de raiz. Quanto às características anatômicas quantitativas, o lenho de caule apresentou vasos mais largos e numerosos, fibras mais curtas, de menor diâmetro e com parede mais espessa, raios mais altos e numerosos, além de menor diâmetro de pontoações intervasculares e raiovasculares em comparação com o lenho de raiz. As variações na estrutura anatômica do lenho que as plantas jovens que cresceram nestas diferentes condições edáficas apresentaram ajudam a compreender as variações estruturais de *E. contortisiliquum* em resposta a diferentes condições ambientais.

Palavras chave: anatomia da madeira, caule, *Enterolobium contortisiliquum*, Latossolo Vermelho Amarelo, Nitossolo Vermelho, raiz.

STEM AND ROOT WOOD ANATOMY OF *ENTEROLOBIUM CONTORTISILIQUUM* (VELL.) MORONG (FABACEAE-MIMOSOIDEAE) YOUNG PLANTS GROWING IN DIFFERENT EDAPHIC CONDITIONS

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong. (Fabaceae-Mimosoideae) is known popularly as tamboril or timboúva, has fast growth and that's why it is largely used for reforestation of degraded areas. In a previous study about stem wood anatomy of *E. contortisiliquum* with mature plants of the same age cultivated at the field, revealed that plants which grew in Alfisol Clay Texture (ACT) soil showed wider and longer vessel elements, wider fibers with thicker walls and larger diameter of intervessel pitting than the plants that grew in Oxisol Medium Texture (OMT) soil. The present study simulates *E. contortisiliquum* plants growth in nursery in the same edaphic conditions (ACT soil and OMT soil), with the hypothesis that young plants also have variations in their wood structure. Additionally to stem studies, a diagnose of the root wood anatomy was made for comparisons between the different soil type and organs. The two soils were collected around 20-40 cm below the ground level, in enough quantity to fill 20 pot, with five liters each one. Ten pots with each soil (OMT and ACT) were placed at the Nursery of Forest Seedling Production, Natural Research Department – Forest Sciences, FCA, UNESP – Univ Estadual Paulista, Botucatu – SP. Seeds collected at the field were planted after scarification with dry sandpaper to break dormancy of the seeds. The young plants grew in full light, received daily irrigation and no fertilization. Shoot height and stem diameter were measured monthly during two years at the nursery. After this period, stem samples from the main stem and the main root of ten young plants were collected and the samples were fixed in FAA 70 and stored in alcohol 70% in the Wood Anatomy Laboratory. In this laboratory, histological sections (cross, tangential longitudinal and radial longitudinal) were obtained and permanent histological slides were made. Woody fragments were dissociated and with it slides were made. The wood anatomical features were analyzed. When compared the ACT soil plants with OMT soil plants, the shoot length and stem diameter was higher in the plants that grew on the ACT soil. The stem wood anatomy is characterized by: growth rings delimited by fibers wall thickening and radial flattened fibers; diffuse porosity, solitary, multiple (2 - 30) and clustered vessels; presence of vessels elements with and without tail in one or both ends; simple perforation plates; alternate intervessel pits with polygonal outline; vested pits; vessel-ray pits similar to intervessel pitting; axial parenchyma predominantly vasicentric, few lozenge-aliform and confluent, with 2-4 cells per strand; homogeneous rays, with all cells procumbent, uniseriate; fiber wall predominantly thin, with simple to minutely bordered pits; gelatinous fibers; fibers with forked end; parenchyma-like fibers bands; starch grains in axial parenchyma cells; prismatic crystals in chambered axial parenchyma cells with up to 21 crystals per cell or chamber. Quantitatively, there were significant differences when compared stem wood of ACT soil young plants with stem wood of OMT soil young plants: the ACT soil young plants had higher frequency of vessels, longer and wider fibers, and larger diameter of intervessel and vessel-ray pitting. The root wood anatomic characteristics also were qualitatively similar when compared plants cultivated in ACT soil with plants cultivated in OMT soil, and they were the same described for stem wood of young plants, except prismatic crystals in the axial parenchyma cells. Quantitatively, there were significant differences when compared root wood of ACT soil plants with root wood of OMT soil plants: the plants cultivated in ACT soil had wider and longer vessel elements, wider fibers with thicker walls and larger diameter of vessel-ray pitting. Comparing stem and root wood anatomy, prismatic crystals were observed in the stem

only and larger amount of parenchyma-like fibers bands in the root wood. The stem wood showed higher frequency of vessels, shorter fibers with smaller diameter and with thicker wall, taller rays and higher frequency of rays, and smaller diameter of intervessel and vessel-ray pitting than root wood. Studies on wood structure under different edaphic conditions will give an insight about the utilization of the wood and may be used as an important tool to understand the structural variations in response to different soil types.

Key words: Wood anatomy, stem, *Enterolobium contortisiliquum*, Alfisol Clay Texture, Oxisol Medium Texture, root.

INTRODUÇÃO

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong pertence à família Fabaceae-Mimosoideae, tribo Ingae. A tribo Ingae foi dividida em alianças genéricas por Barneby e Grimes (1996 *apud* Evans *et al.* 2006), e *Enterolobium* Mart. foi um dos três gêneros que permaneceu com posição incerta, não sendo incluído em nenhuma aliança genérica. *Enterolobium* compreende 11 espécies neotropicais, entre as quais, *Enterolobium contortisiliquum*. A espécie ocorre naturalmente em florestas de domínio de Mata Atlântica, principalmente, mas é encontrada também em formações de cerrado na região Central do Brasil. Na região Nordeste, ocorre na zona do Agreste e na caatinga (Mesquita 1990 *apud* Lima *et al.* 2009). Na região Sul, ocorre em formações florestais no Rio Grande do Sul (Lorenzi 1998)

A espécie possui vários nomes populares, mas é conhecida principalmente como tamboril e timboúva (Camargos *et al.* 2001). O nome timboúva vem de timbó-yba, que significa árvore de espuma, alusivo à espuma que produz o fruto (Braga 1976). A elevada porcentagem de saponina na casca e nos frutos da espécie permite sua utilização na produção de sabão caseiro, ou ainda na medicina popular (Carvalho 1994). A madeira de *E. contortisiliquum* pode ser utilizada de várias formas, tanto em carpintaria quanto em marcenaria, como tacos, brinquedos, na construção naval e civil, como embalagens e caixotaria leve, palitos de fósforo, lápis, compensados, miolos de portas e painel, dormentes, além de ser adequada para produzir celulose (Loureiro e Silva 1968; Carvalho 1994).

E. contortisiliquum é considerada pioneira por alguns autores (Reitz *et al.* 1978 *apud* Carvalho 1994; Lorenzi 1998), sendo de comum ocorrência em vegetações secundárias (clareiras, capoeirões e matas degradadas), onde se constata regeneração acentuada (Carvalho 1994). A espécie apresenta plasticidade ecológica, sendo encontrada em várias regiões fitoecológicas no Brasil (Carvalho 1994).

A espécie apresenta crescimento rápido no campo, principalmente quando se considera o crescimento em diâmetro (Carvalho 1994), e por esse motivo, é utilizada em reflorestamento de áreas degradadas em plantios mistos (Lorenzi 1998). Nestes plantios, *E. contortisiliquum* tem demonstrado melhor crescimento em solos com nível de fertilidade química elevada, com boa disponibilidade hídrica durante o período de crescimento e com textura franco a argilosa (Carvalho 1994).

Plantios experimentais visando à recuperação de áreas degradadas têm sido conduzidos sob a responsabilidade da Prof^a. Dra. Vera Lex Engel, desde 1997, na Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo. Nestes plantios foram observadas diferenças quanto ao crescimento em diâmetro bem como diferenças anatômicas do lenho comparando caules de árvores de *E. contortisiliquum* que cresceram em Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo. As plantas que cresceram sobre Nitossolo Vermelho apresentaram lenho com vasos de maior diâmetro, elementos de vaso mais compridos, pontoações intervasculares com diâmetro maior e fibras com diâmetro maior e paredes mais espessas (Santos 2007).

A hipótese do presente trabalho é a de que as diferenças anatômicas das plantas adultas em resposta aos diferentes solos em condições de campo sejam também observadas em plantas jovens cultivadas em vasos contendo os mesmos tipos de solo, em viveiro.

O objetivo deste trabalho foi analisar a anatomia do lenho do caule e, complementarmente, da raiz de plantas jovens de *E. contortisiliquum* cultivadas em Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Anatomia ecológica da madeira

A influência dos fatores ambientais na estrutura anatômica da madeira há muito já foi apontada e se encaixa dentro da linha de pesquisa em anatomia ecológica. Estudos conduzidos por Vesque em 1876 (*apud* Baas 1982), através de considerações teóricas sobre a condução de água no caule, demonstraram que o diâmetro dos vasos pode variar de acordo com a disponibilidade hídrica a que a planta está submetida. Entretanto, apenas na primeira metade do século XX é que os estudos sobre anatomia ecológica da madeira receberam mais atenção dos pesquisadores.

Estudos têm demonstrado que as variações ambientais refletem nas variações estruturais do lenho, principalmente quanto às dimensões dos elementos celulares, tais como: diâmetro, comprimento e frequência dos vasos; espessura da parede e comprimento de fibras; e altura e largura dos raios (Baas *et al.* 1983; Carlquist e Hoekman 1985; Baas e Schweingruber 1987).

Com relação a vasos, por exemplo, as suas dimensões (comprimento de elementos de vaso, diâmetro) e frequência estão sob forte influência da disponibilidade hídrica (Dickison 2000). Estudos anatômicos com plantas que crescem sob condições variadas de disponibilidade hídrica têm revelado que elementos de vasos curtos, vasos estreitos, agrupados e numerosos, com placa de perfuração múltipla são características que contribuem com a segurança da condução em plantas que crescem em ambientes com baixa disponibilidade hídrica; por outro lado, vasos largos e placa de perfuração simples garantem a eficiência da condução em plantas de locais com maior disponibilidade de água (Penfound 1931; Webber 1936; Carlquist 1977, 1982, 1985, 1997, 2003; Carlquist e Wilson 1995; Barajas-Morales 1985; Villagra e Roig-Juñent 1997; Arnold e Mauseth 1999; De Micco *et al.* 2008).

Com base nas características anatômicas de vasos, diversos *taxa* foram caracterizados como xeromórficos ou mesomórficos (Carlquist 1977, 1982, 1985, 1997, 2003; Carlquist e Wilson 1995). Vasos largos caracterizam *taxa* mesomórficos provenientes de locais com maior disponibilidade hídrica, e garantem assim a eficiência da condução. Vasos estreitos e

numerosos caracterizam *taxa* xeromórficos, contribuindo com a segurança da condução hídrica em plantas provenientes de locais onde a disponibilidade hídrica é menor.

Células maiores (elementos de vaso, fibras, células parenquimáticas), maior porcentagem de xilema e área vascular maior foram observadas no lenho de plantas de *Helianthus annuus* e *Polygonum hydropiper* que cresceram em solo mais úmido e sob maior intensidade de luz (Penfound 1931).

Webber (1936) comparou a anatomia de 35 espécies arbustivas pertencentes a 16 famílias que ocorrem em desertos da Califórnia. A autora observou características xeromórficas no lenho dos arbustos esclerófilos (cujas folhas são rígidas), como vasos de diâmetro menor e numerosos, mais seguros à condução hídrica.

Bissing (1982) estudou o lenho de 39 espécies, incluídas em 24 famílias, de plantas cultivadas e de campo que cresceram sob diferentes regimes hídricos e observou camadas de crescimento mais largas, maior razão vasos solitários/vasos múltiplos e menor razão placa de perfuração escalariforme/placa de perfuração simples no lenho das plantas que cresceram com maior disponibilidade hídrica.

Barajas-Morales (1985) comparou espécies arbóreas de duas florestas do México (sendo 27 espécies provenientes da Floresta Tropical Úmida e 27 espécies provenientes da Floresta Tropical Decídua). As plantas da floresta decídua apresentaram características xeromórficas, como vasos estreitos e numerosos, elementos de vaso e fibras mais curtas e raios mais baixos, diferentemente das plantas da floresta tropical úmida, que apresentaram características menos especializadas.

Villagra e Roig Juñent (1997) compararam as diferenças nas características anatômicas da madeira de *Prosopis argentina* Burk. e *Prosopis alpataco* Phil. que cresceram em diferentes tipos de solos. Segundo os autores, a espécie *P. argentina*, crescendo sobre dunas arenosas, desenvolve um sistema hidráulico que pode ser capaz de fazer o máximo uso da água disponível, mas que também é capaz de maximizar a segurança do sistema de condução. Essa segurança na condução hídrica, segundo os autores, é proporcionada pela presença de grande número de vasos agrupados e de pequeno diâmetro na madeira. Já, para *P. alpataco*, cuja ocorrência predomina em solos argilosos, um tanto salinos, e cujas raízes são profundas de tal forma que alcançam o lençol freático, a proporção de vasos grandes e solitários encontrados na madeira proporcionaria máxima capacidade hídrica. Estes resultados estão de acordo com Zobel e Buijtenen (1989), que afirmam que respostas do lenho às características do solo ocorrem geralmente quando há diferenças extremas entre os solos, como entre solos arenosos e argilosos.

Arnold e Mauseth (1999) realizaram um trabalho experimental em que foram avaliados os efeitos de níveis baixos, médios ou altos de luz, água e nutrientes do solo (fósforo e nitrogênio) em duas espécies de *Cereus*. Ambas as espécies apresentaram vasos mais largos no tratamento em que as plantas receberam água abundante por irrigação. Em níveis baixos de luz, nitrogênio e fósforo, *Cereus peruvianus* apresentou condutividade hidráulica reduzida devido a menor largura e densidade de vasos. A outra espécie, *Cereus tetragonus*, não mostrou variação porque, segundo os autores, possivelmente quantidades residuais destes elementos permaneceram na planta mesmo após a privação destes nutrientes.

De Micco *et al.* (2008), estudaram o lenho juvenil e o adulto de 8 espécies vegetais ao longo de um gradiente de disponibilidade hídrica, desde ambientes xéricos a méxicos de ecossistemas do Mediterrâneo. Segundo os autores, de uma forma geral o lenho juvenil das amostras estudadas apresentaram estrutura hidráulica mais segura, caracterizada por vasos numerosos, estreitos e agrupados em comparação com o lenho adulto. Ainda em termos de eficiência e segurança na condução hídrica, os autores encontraram maior variação entre o lenho juvenil e o adulto nas plantas de ambientes mais xéricos em comparação com as de ambientes mais méxicos.

A maioria dos estudos anatômicos com plantas cultivadas em diferentes condições edáficas aborda a influência da disponibilidade hídrica do solo na estrutura anatômica do lenho, sendo relativamente poucos os que abordam a questão nutricional do solo. Além disso, as pesquisas que associam as variações da estrutura anatômica do lenho a diferentes condições edáficas são realizadas principalmente com madeiras de interesse comercial, como o eucalipto e o pinus.

Estudos sobre o efeito da fertilização do solo nas características anatômicas do lenho têm revelado aumento no diâmetro dos vasos em consequência da fertilização (Kennedy 1968; Einspahr *et al.* 1972 *apud* Vital 1990). Outros autores estudaram o efeito da fertilização nas características de camadas de crescimento (Brito *et al.* 1986; Mörling 2002), de fibras e de traqueídes (Williams e Hamilton 1961; Saucier e Ike 1969; Nyakuengama *et al.* 2003; Antony *et al.* 2009). Estes autores relacionaram fertilização com a redução na densidade da madeira, o que pode ser explicado pela diminuição da espessura da parede das células (fibras e traqueídes).

Além das condições edáficas, outros fatores estão relacionados com as variações estruturais do lenho, como o hábito da planta, as condições atmosféricas (concentração de CO₂ e poluição), a latitude e a altitude (Dickison 2000).

Walsh (1975), por exemplo, estudando 21 espécies de *Hibiscus* encontrou diferenças entre árvores, arbustos e herbáceas quanto ao diâmetro e agrupamento de vasos, comprimento dos elementos de vaso e das fibras, espessura da parede das fibras e altura e largura dos raios. Segundo o autor, as espécies podem ser agrupadas quanto ao hábito com base nas características anatômicas: árvores foram caracterizadas pela presença de vasos largos e numerosos, predominância de vasos solitários; Sub-arbustos também foram caracterizados pela presença de vasos largos, além de fibras com parede mais espessa; Arbustos perenes foram caracterizados por vasos estreitos, e agrupados em cachos, além de fibras mais curtas; Arbustos anuais, vasos numerosos e múltiplos, além de raios mais altos.

Atkinson e Taylor (1996) avaliaram os efeitos de diferentes concentrações de CO₂ no crescimento do caule e na condutividade hidráulica de mudas de *Quercus robur*. Em elevadas concentrações de CO₂, as plantas desta espécie apresentaram crescimento maior em diâmetro do caule, além de vasos de diâmetro maior, responsáveis pela maior eficiência na condução hídrica.

Klassen (1999) realizou um levantamento das características anatômicas do lenho de plantas da família Sapindaceae, comparando espécies de clima tropical e não-tropical, e espécies decíduas com sempre-verdes. O autor concluiu que, para as espécies estudadas, as características anatômicas foram influenciadas pela latitude, mas não fez conclusões para correlações entre fenologia (caráter decíduo ou sempre-verde) e características anatômicas; isto é, as variações nas características anatômicas não foram relacionadas com o fato de as plantas desta família serem decíduas ou sempre-verdes.

Nesta mesma linha, Noshiro e Baas (2000), analisaram o lenho de 242 plantas do gênero *Cornus* distribuídas ao longo do hemisfério norte, e fizeram correlações com fatores climáticos (latitude, temperatura e precipitação) e as variações nas características anatômicas da madeira (comprimento de elementos de vaso, comprimento de fibras, frequência de vasos, diâmetro de vasos e índice de agrupamento de vasos). Segundo os autores, a latitude foi o fator correlacionado mais fortemente com as variações nas características anatômicas para o gênero, indicando uma influência direta de outros fatores geofísicos relacionados com a latitude sobre a estrutura anatômica da madeira, como gravidade, intensidade de radiação solar e comprimento do fotoperíodo.

Aguilar-Rodríguez *et al.* (2006) coletaram amostras lenhosas de espécimes de *Buddleja cordata* provenientes de 17 localidades ao longo do território mexicano e avaliaram a variabilidade das características anatômicas da madeira em relação ao hábito das plantas (árvore ou arbusto), à latitude, à altitude, ao solo e ao clima. Segundo os autores, espécimes

de *B. cordata* coletados dos locais mais ao Norte do país eram arbustos que cresceram em ambiente de clima temperado, com temperaturas abaixo de zero grau nos meses mais frios; estas plantas apresentaram lenho com anel poroso, sendo que no lenho tardio, os elementos de vaso eram mais compridos e numerosos, e as fibras, mais curtas. Espécimes de *B. cordata* coletados mais ao Sul do país cresceram em ambientes com o mesmo clima, porém o verão era mais chuvoso nestes locais; o lenho destas plantas apresentou porosidade difusa, elementos de vaso mais curtos e agrupados, além de fibras longas e de diâmetro maior. Os autores concluíram que, embora a maioria das populações de *B. cordata* deste estudo crescesse em locais de clima temperado, a variabilidade existente na temperatura e precipitação ao longo do ano afeta o tamanho da planta e essas características anatômicas. Os autores relacionaram essa variabilidade na temperatura e na precipitação com o gradiente de latitude, e ainda observaram uma tendência de redução no comprimento das células (exceto comprimento de fibras e altura de raios) com o aumento da latitude. Quanto à altitude, a elevação não foi uma fonte importante de variação das características anatômicas dos espécimes de *B. cordata* estudados. Quanto ao solo, a condutividade elétrica, os teores de fósforo e de nitrogênio puderam ser levemente correlacionados com as variações nas características anatômicas da madeira de *B. cordata* porque a espécie pareceu ser adaptada a crescer em diferentes condições edáficas sem influenciar sua estrutura anatômica do lenho. Essa correlação leve entre os três parâmetros de solo e as características anatômicas pôde ser explicada pelo fato de que, em climas de baixa temperatura, o ciclo do nitrogênio e o ciclo do carbono são retardados (Currie 1999 *apud* Aguilar-Rodríguez *et al.* 2006), o que afeta a absorção de alguns elementos envolvidos na divisão celular e diferenciação no câmbio.

Rajput *et al.* (2008) estudaram a anatomia do lenho de *Prosopis spicigera* crescendo sob a influência da combinação de poluentes do ar (dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, amônia e partículas suspensas). Os autores observaram que as plantas afetadas pela poluição apresentaram menor diâmetro de vasos e maior frequência de vasos como respostas das plantas para mitigar a tensão negativa da coluna de água no xilema, causada pela combinação desses poluentes atmosféricos.

No Brasil, Alves (1995) avaliou os efeitos da poluição na anatomia da madeira de *Cecropia glazioui*. Segundo a autora, as plantas que cresceram em áreas poluídas apresentaram características que podem aumentar a segurança da condução hídrica, ou seja, vasos com menor diâmetro tangencial, elementos de vaso mais curtos, maior frequência de vasos, além de número maior de vasos agrupados.

Estudo comparando duas espécies arbóreas (*Casearia sylvestris* Sw. e *Machaerium villosum* Vogel.) em ambiente de floresta mesófila e de cerrado (Ceccantini 1996) revelou que as características do lenho mais sensíveis às variações ambientais foram o diâmetro e a frequência de vasos e o comprimento das fibras. Nesta mesma linha, Marcati *et al.* (2001) constataron diferenças quantitativas nas estruturas anatômicas do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) que ocorre em cerrado e em floresta estacional semidecídua, e encontraram maior diâmetro dos vasos e menor diâmetro tangencial das pontoações intervasculares nos espécimes de cerrado.

Um amplo estudo sobre anatomia ecológica do lenho foi realizado por Alves e Angyalossy-Alfonso (2000, 2002) com cerca de 490 espécies da flora brasileira, entre elas, *E. contortisiliquum*. As autoras procuraram comprovar estatisticamente, para as madeiras brasileiras, tendências ecológicas sugeridas na literatura para arranjo e agrupamento de vasos, espessura da parede das fibras, tipo e quantidade de parênquima axial, largura dos raios e camadas de crescimento. Foi observado que em 48% das espécies brasileiras as camadas de crescimento são distintas, as demais espécies que não apresentaram tal característica ocorriam em locais de clima com pouca variação de temperatura e umidade ao longo do ano. Oitenta e quatro por cento das espécies estudadas apresentaram lenho com porosidade difusa. A alta incidência de vasos múltiplos também foi relacionada com variações na temperatura e umidade ao longo do ano (florestas estacionais semi-decíduas), além de latitudes maiores (região Sul do Brasil). Noventa e cinco por cento das espécies estudadas apresentaram vasos com placa de perfuração simples, que, segundo as autoras, são mais adaptadas a altas taxas de condução hídrica em plantas de clima tropical e quente. O parênquima foi mais abundante no lenho de plantas de locais de clima tropical, onde a taxa fotossintética é maior. Raios mais largos foram encontrados em plantas de latitude maior, o que, segundo as autoras, melhoram o transporte desses fotossintatos no sentido radial do floema para o xilema.

Esemann-Quadros (2001) analisou a anatomia do lenho de *Clusia criuva* Cambess. (Clusiaceae) comparando as características qualitativas e quantitativas do caule, raiz subterrânea e aérea de plantas de hábito arbóreo e hemiepifítico, que ocorrem em diferentes ambientes. Segundo a autora, o lenho do caule das plantas hemiepifíticas das espécies é similar ao das arbóreas. Entre as plantas dos diversos ambientes, porém, foram observadas diferenças qualitativas, como a presença de camadas de crescimento no caule das plantas de regiões mais frias, geralmente acompanhadas por máculas tangenciando as camadas.

Pereira (1990), estudando duas variedades de *Sclerolobium paniculatum* Vog. (Leguminosae-Caesalpinoideae) ocorrente no Distrito Federal, encontrou diferenças

anatômicas qualitativas e quantitativas entre as mesmas, embora as duas variedades tenham se mostrado estruturalmente semelhantes e apresentado similaridades com a madeira de várias espécies do mesmo gênero. Pires e Marcati (2005), estudando a anatomia e o uso da madeira dessas mesmas variedades ocorrentes no sul do Maranhão, observaram que as características anatômicas da madeira não variaram qualitativamente entre as duas variedades, entretanto, houve variações com relação aos resultados de Pereira (1990) para as mesmas variedades ocorrentes no Distrito Federal. As análises estatísticas das características anatômicas quantitativas demonstraram diferenças significativas para os parâmetros: frequência e diâmetro de vasos, frequência e largura dos raios, diâmetro e espessura das paredes das fibras.

Luchi (2004) analisou a anatomia do lenho de indivíduos de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de áreas com o solo alagado, úmido e seco. A autora comparou estatisticamente o valor médio de 22 características anatômicas em cada tipo de solo. Quatorze das 22 características apresentaram-se diferentes nos espécimes de pelo menos duas localidades com solo diferente. De tais características, dez apresentaram-se significativamente diferentes entre os espécimes de solo da condição seca e alagada.

Montefusco (2005) estudaram a anatomia do lenho de espécimes de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (Leguminosae) ocorrentes no Parque Estadual do Cerrado de Jaguariaíva, PR, ao longo de uma topossequência, caracterizando e comparando os elementos anatômicos da estrutura do lenho em diferentes pontos e verificando a tendência de adaptação ecológica em relação à disponibilidade hídrica e as características do solo. Os autores observaram características anatômicas xeromórficas (vasos estreitos, maior frequência de vasos e elementos de vaso compridos) no lenho de *S. adstringens* de locais onde o solo é úmido, e sugeriram que as adaptações ecológicas não aconteceram no xilema dos indivíduos desta espécie, mas sim em outras partes das plantas.

Denardi e Marchiori (2005) analisaram comparativamente o lenho de indivíduos de *Blepharocalyx salicifolius* (H. B. K.) Berg (Myrtaceae) procedentes da Serra do Sudeste e dos Campos de Cima da Serra. Os autores não observaram variações relevantes sob o ponto de vista qualitativo, exceto pela presença de máculas de origem traumática, mas em relação às características quantitativas, os autores observaram diferenças significativas nas características quantitativas, como, vasos estreitos e numerosos e elementos de vaso e fibras de comprimento menor no lenho das plantas da Serra do Sudeste, onde a disponibilidade de água é menor.

Barros *et al.* (2006) estudaram a anatomia da madeira de 26 espécies, pertencentes a 14 famílias, provenientes de uma comunidade arbórea de uma reserva biológica do Rio de

Janeiro. Os autores observaram incidência maior que 80% para as características camadas de crescimento distintas, porosidade difusa, vasos com placa de perfuração simples e pontoações intervasculares alternas, índice de agrupamento de vasos maior que 2, fibras com paredes delgadas a espessas, 4 a 12 raios por milímetro e 1 a 3 células de largura, além de 69% de ocorrência de vasos com diâmetro maior que 100 micrômetros e 92% de ocorrência de até 20 vasos por milímetro quadrado. A alta incidência de características em comum entre as espécies estudadas permitiu estabelecer um padrão anatômico para esta comunidade arbórea; segundo os autores, este padrão se enquadra nas tendências ecológicas para espécies de terras baixas dos trópicos, caracterizados por plantas com lenho de baixa frequência de vasos, vasos largos e com placa de perfuração simples.

Santos (2007) analisou o lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosoideae) ocorrendo em diferentes solos, um de textura argilosa (Nitossolo Vermelho) e o outro de textura arenosa (Latosolo Vermelho Amarelo). Segundo a autora, a textura argilosa e os teores maiores de matéria orgânica e de nutrientes como fósforo, potássio cálcio e magnésio de Nitossolo Vermelho contribuíram com os maiores valores diâmetro de vasos, comprimento de elementos de vaso, diâmetro de fibras, espessura da parede de fibras e diâmetro de pontoações intervasculares no lenho das plantas desta espécie neste solo. A mesma espécie foi estudada por Lima *et al.* (2009), que avaliou o efeito de diferentes condições latitudinais na anatomia do lenho da espécie. Os autores não observaram variação nas características anatômicas qualitativas entre os indivíduos estudados, mas houve diferença estatística significativa quando comparados os indivíduos nas diferentes latitudes; por exemplo, vasos estreitos, elementos de vaso e fibras de comprimento maior foram observados no lenho das plantas de latitude menor, o que pode ser explicado pela diferença na disponibilidade hídrica dos ambientes. Outras características também diferiram estatisticamente, mas não puderam ser estabelecidas tendências ecológicas que explicassem tais variações.

Jono (2009) comparou o lenho de espécimes de *Roupala rhombifolia* (Proteaceae) e observou diferenças nas características anatômicas quantitativas entre as plantas de mata ciliar, floresta de topo de morro e campo. Com base nas características de vaso, a autora observou que plantas da mata ciliar, onde a umidade do solo é maior, apresentaram lenho com vasos largos e, segundo a autora, esta característica indica que as plantas investiram mais na eficiência da condução hídrica nesse ambiente do que as plantas dos outros ambientes. As plantas provenientes da floresta apresentaram maior frequência de vasos, e as plantas

provenientes do campo, vasos estreitos e área condutora menor, características que proporcionam segurança à condução hídrica.

Com base nas evidências dos estudos relatados, podem ser estabelecidas algumas tendências para as características anatômicas do lenho: vasos estreitos, numerosos e agrupados e elementos de vaso e fibras de comprimento menor são características xeromórficas; Dimensões celulares menores também ocorreram em plantas de locais de latitude menor, ou no lenho de plantas submetidas a baixa intensidade de luz ou ainda desenvolvidas sobre solos menos férteis.

As tendências ecológicas foram estabelecidas com a relação entre as variações nas características anatômicas do lenho e as condições ambientais; entretanto, há espécies que não seguem tais tendências, ou ainda nem todas as variações nas características anatômicas de uma espécie podem ser correlacionadas com fatores ecológicos. Ainda há muito a ser investigado com respeito a correlações entre fatores ecológicos e variações que ocorrem na madeira (Olson e Carlquist 2001) e mesmo considerando que há um número relativamente grande de espécies cujo lenho foi estudado com enfoque ecológico, ainda assim pode-se dizer que este número é pequeno quando se considera a riqueza de espécies da flora brasileira (Marcati *et al.* 2001).

2. Anatomia comparada da madeira de raiz e caule

Exceto alguns poucos trabalhos como o de Gasson e Cutler (1990), que analisaram a anatomia do lenho de raízes de 17 gêneros de plantas que cresceram nas Ilhas Britânicas, a maioria dos estudos sobre a anatomia ecológica tem enfatizado o lenho de caule. As diferenças anatômicas entre raiz e caule são conhecidas para algumas espécies, e alguns estudos comparativos entre caule e raiz foram realizados com enfoque ecológico a fim de que fossem entendidas as adaptações destes órgãos em diferentes ambientes.

Sttoke e Manwiller (1994) determinaram proporções volumétricas de vasos, fibras, parênquima axial, raios e traqueídes vasicêntricas para raiz, caule e ramos de 3 espécimes de *Quercus velutina* (Lam). Os autores encontraram proporção maior de vasos no lenho de ramos, proporção maior de parênquima axial e traqueídes vasicêntricas no lenho de caule, fibras em proporção maior no lenho de caule e de ramos (órgãos de sustentação mecânica), e maior quantidade de parênquima radial em raízes, o que, segundo os autores, está relacionado com a função de armazenamento desse órgão e a sua distância da copa.

Carlquist (1995) comparou o lenho de caule e raiz de *Drosophyllum lusitanicum* (L.) Link (Droseraceae) e observou maior diâmetro de vasos nas raízes do que em caules, além de características xeromórficas como traqueídes associadas a vasos estreitos com placa de perfuração simples.

Ewers *et al.* (1997) compararam o diâmetro radial de vasos em caules e raízes de amostras de 62 *taxa* retirados de coleções provenientes de diferentes floras dos Estados Unidos. Os autores encontraram vasos muito mais largos em raízes do que em caules.

Machado *et al.* (1997, 2007) analisaram a anatomia do lenho do caule e da raiz dentro e entre 5 espécies de *Styrax* (Styracaceae) do Cerrado e também da Floresta Atlântica. Os resultados indicaram diferenças anatômicas significativas entre as espécies de cerrado e de floresta, assim como entre raiz e caule de uma mesma espécie de *Styrax*. As espécies de cerrado, que passam por uma estação seca bem definida, apresentaram vasos mais largos em raízes que em caules, lenho com anel semiporoso em raízes, ocorrência combinada de vasos com placa de perfuração simples e múltipla, o que, segundo os autores, pode estar relacionado com a porosidade em anel semi-poroso. Durante a estação úmida, os vasos largos do lenho inicial, com placa de perfuração simples, acomodariam grandes volumes de água exigidos durante os picos de demanda transpiratória; durante o inverno, os vasos estreitos do lenho tardio, com placa de perfuração múltipla, proporcionariam segurança contra embolismos em caso de déficit hídrico. Os autores comentam ainda que vasos estreitos nas espécies de floresta também contribuiriam com a segurança da condução, considerando que os solos de floresta Atlântica são rasos e as raízes, mais suscetíveis a variações na disponibilidade hídrica.

Psaras e Sofroniou (1999, 2004) descreveram as características anatômicas do lenho do caule e raiz de *Capparis spinosa* L. (Capparaceae) e *Phlomis fruticosa* L. (Labiata) e observaram vasos mais largos no lenho de raiz do que em caule em ambas as espécies.

McElrone *et al.* (2004) compararam o lenho de caule e raiz e determinaram a condutividade hidráulica para *Quercus fusiformis* Small, *Q. sinuata* (Torr.) C.H. Mull, *Juniperus ashei* Buchh. e *Bumelia lanuginosa* (Michx.) Pers. Neste estudo ficou demonstrada a eficiência das raízes em conduzir água e minimizar a resistência ao fluxo através de vasos largos, o que pôde ser explicado pela Lei de Pouseuille, segundo a qual a condutividade hidráulica é proporcional à quarta potência do raio do capilar (Tyree e Ewers 1991).

Mauseth e Stone-Palmquist (2001) compararam o lenho de caule e raiz de 120 espécies de cactos e observaram que em algumas espécies, a raiz e o caule diferem muito quanto à estrutura anatômica (fibrosa, parenquimatosa ou faixa larga/matriz composta de

traqueídes) e puderam concluir que a independência da morfogênese entre caule e raiz permitiu a cada órgão evoluir conforme a sua necessidade de adaptação.

Olson e Carlquist (2001) analisaram o lenho de caule e raiz de 13 espécies de *Moringa* (Moringaceae) com diferentes formas de vida (hábitos), provenientes de diversos locais com diferenças na disponibilidade hídrica. Apesar da amostragem em larga escala, as amostras de madeira analisadas neste estudo mostraram um padrão de variação das características anatômicas, como exemplo, vasos mais largos no lenho das plantas dos locais mais úmidos, vasos pequenos e numerosos nos arbustos tuberosos e espécies arbóreas dos locais com período de seca prolongado. Comparando caule e raiz, houve diferença quanto ao diâmetro de vasos, mais largos no lenho de raiz; houve variação considerável quanto à constituição do lenho de caule e raiz, o que pode ser associado com o hábito da planta: no lenho de caule das espécies arbóreas com caule retilíneo, ausência de faixas de fibras, mas no lenho de raiz elas estavam presentes; nos arbustos tuberosos, lenho constituído quase que totalmente por células de parênquima axial, com fibras extremamente raras; no lenho de caule as fibras estavam presentes.

Luchi *et al.* (2005) estudaram a estrutura anatômica do lenho do caule e da raiz de espécimes de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae) provenientes de duas áreas de cerrado, uma com vegetação característica e outra, em que a vegetação original foi substituída por monocultura de *Pinus elliotti*. Das 18 características anatômicas quantitativas analisadas, os autores observaram que 12 diferiram significativamente no lenho do caule, e 9 características diferiram significativamente no lenho de raiz. Para o lenho de caule das plantas de Cerrado que, segundo os autores, na estação seca passa por um período de déficit hídrico maior que o da área de plantio, a frequência e porcentagem de vasos foram maiores, os elementos de vaso mais compridos, altura (número de células) e largura de raios (em micrômetros) foram maiores, as fibras mais compridas e a porcentagem de parênquima axial, maior. Para o lenho de raiz das plantas de Cerrado, somente porcentagem de vasos, altura de raios (em número de células) e comprimento de fibras foram maiores que as plantas do plantio.

Palhares *et al.* (2007) compararam o lenho de caule e raiz de *Brosimum gaudichaudii* Tréc. (Moraceae) de Cerrado. Houve similaridades nas características anatômicas de caule e raiz, mas algumas diferenças também foram observadas: os vasos múltiplos do lenho de caule eram compostos de menos vasos que os do lenho da raiz; o lenho da raiz apresentou fibras de parede mais fina, grãos de amido e mais parênquima do que o caule, o que pôde ser relacionado com a função de armazenamento da raiz.

Estudo conduzido em área de cerrado sobre a anatomia da madeira de raiz e caule de *Lippia salviifolia* Cham. (Verbenaceae), em Pratânia, Estado de São Paulo demonstrou que a presença de camadas de crescimento bem definidas no lenho de caule e raiz dos espécimes estudados pode estar relacionada a sazonalidade das chuvas ao longo do ano. Placas de perfuração múltiplas nos elementos de vaso do lenho de caule e no de raiz podem evitar embolismos nos períodos de seca. Fibras septadas e raios mais largos no lenho de raiz podem estar relacionados com o armazenamento de água e substâncias de reserva. Quanto às características quantitativas, no caule o comprimento dos elementos de vaso e a frequência de vasos foram maiores, as fibras foram mais compridas, mas estreitas e com a parede celular mais espessa, os raios mais altos e o diâmetro das pontoações intervasculares, maiores (Goulart e Marcati 2008).

Assim como os caules, as raízes também se tornaram estruturalmente adaptadas a diferentes condições, hábitos e formas de vida (Dickison 2000). Os estudos comparativos entre caule e raiz revelam diferenças e similaridades estruturais entre os dois órgãos e ajudam a entender melhor as adaptações das plantas a diferentes condições ambientais.

Apesar de tendências observadas na comparação do lenho de caule com o de raiz em várias espécies – vasos de diâmetro maior e células mais compridas no lenho de raiz (Cutler 1976 *apud* Goulart e Marcati 2008), algumas espécies não demonstram tais tendências.

Conforme exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Botânica, os resultados deste trabalho foram reunidos em artigos científicos para publicação, os quais estão sendo apresentados de acordo com as normas da Trees Structure and Function.

**Anatomia do lenho de caule de plantas jovens de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)
Morong (Fabaceae-Mimosoideae) crescendo em diferentes condições edáficas¹**

TALITA DOS SANTOS ANGÉLICO^{2;4}, CARMEN REGINA MARCATI³

- (1)Parte da dissertação de mestrado da primeira autora, desenvolvida no Departamento de Recursos Naturais – Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, CP 237, CEP 18603-970, Botucatu, SP, Brasil.
- (2)Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, s/n, CP 510, CEP 18618-000, Botucatu, SP, Brasil.
- (3)Departamento de Recursos Naturais – Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, CP 237, CEP 18603-970, Botucatu, SP, Brasil.
- (4)Endereço eletrônico para correspondência:
E-mail: talitangelico@hotmail.com

RESUMO – O lenho de caule de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong foi comparado de plantas jovens que cresceram em diferentes condições edáficas. Estudo prévio sobre a anatomia do lenho de caules de plantas de *E. contortisiliquum*, adultas e de mesma idade, revelou que plantas que cresceram sobre Nitossolo Vermelho apresentaram vasos de maior diâmetro e elementos de vaso mais compridos, fibras com diâmetro maior e paredes mais espessas e pontoações intervasculares com diâmetro maior, quando comparadas com plantas que cresceram em Latossolo Vermelho Amarelo. No presente estudo foram analisadas plantas de *E. contortisiliquum* de dois anos de idade que cresceram nestes solos em condições de viveiro na Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, SP, Brasil, com a hipótese de que plantas produzidas em viveiro também apresentem variação na estrutura anatômica da madeira em resposta às diferentes condições edáficas. Amostras lenhosas do caule de dez plantas jovens foram coletadas a 15cm acima do nível do solo. As plantas jovens cultivadas em Nitossolo Vermelho apresentaram crescimento maior em altura. As características anatômicas qualitativas permaneceram similares entre as plantas dos dois solos. Quanto às características anatômicas quantitativas, as variações observadas não foram as mesmas encontradas nas plantas adultas: as plantas jovens que cresceram em Nitossolo Vermelho tiveram mais vasos por mm², fibras mais compridas e diâmetro maior de pontoações intervasculares e raiovasculares. As variações na estrutura anatômica do lenho apresentadas pelas plantas que cresceram nestas diferentes condições edáficas ajudam a compreender as variações estruturais de *E. contortisiliquum* em resposta a diferentes condições ambientais.

Palavras chave: anatomia da madeira, caule, *Enterolobium contortisiliquum*, Latossolo Vermelho Amarelo, Nitossolo Vermelho.

ABSTRACT – Wood structure of *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosoideae) was compared among young plants growing in different soil conditions. Previous study about stem wood anatomy of *E. contortisiliquum* conducted with mature plants of the same age cultivated at the field, revealed that plants which grew in Alfisol Clay Texture (ACT) soil showed wider and longer vessel elements, wider fibers with thicker walls and larger diameter of intervessel pitting than the plants that grew in Oxisol Medium Texture (OMT) soil. In the present study, it was analysed whether young plants grown in those respective soil types under nursery condition also show variations in their wood structure. Stem samples from the main stem of ten plants were collected 15 cm above the ground. Plants growing in Alfisol Clay Texture soil were taller and also larger in stem diameter. Anatomically wood anatomy of the plants remained qualitatively similar, but quantitative features showed significant variations: plants growing in the Alfisol Clay Texture soil had higher frequency of vessels, longer fibers, and larger diameter of intervessel and vessel-ray pitting. Therefore the variations observed in this study were not the same previously noticed in mature plants growing in the field. *E. contortisiliquum* is a fast growing species and is largely used for reforestation of degraded areas, therefore, studies on wood structure under different edaphic conditions will give an insight about the utilization of the wood and may be used as an important tool to understand the structural variations of this species in response to different environmental conditions.

Key words: Wood anatomy, stem, *Enterolobium contortisiliquum*, Alfisol Clay Texture, Oxisol Medium Texture.

INTRODUÇÃO

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong, pertencente à família Fabaceae-Mimosoideae, apresenta vários nomes populares, mas é conhecido principalmente como tamboril e timboúva (Camargos *et al.* 2001). O nome timboúva vem de timbó-yba, que significa árvore de espuma, alusivo à espuma que produz o fruto (Braga 1976). A elevada percentagem de saponina na casca e nos frutos da espécie permite sua utilização na produção de sabão caseiro, ou ainda na medicina popular (Carvalho 1994). A madeira de *E. contortisiliquum* pode ser utilizada de várias formas, tanto em carpintaria quanto em marcenaria, como tacos, brinquedos, na construção naval e civil, como embalagens e caixotaria leve, palitos de fósforo, lápis, compensados, miolos de portas e painel, dormentes, além de ser adequada para produzir celulose (Loureiro e Silva 1968; Carvalho 1994).

E. contortisiliquum é considerada pioneira por alguns autores (Reitz *et al.* 1978 *apud* Carvalho 1994; Lorenzi 1998), sendo de comum ocorrência em vegetações secundárias (clareiras, capoeirões e matas degradadas), onde se constata regeneração acentuada (Carvalho 1994). A espécie apresenta plasticidade ecológica, sendo encontrada em várias regiões fitoecológicas no Brasil (Carvalho 1994).

A espécie apresenta crescimento rápido no campo, principalmente quando se considera o crescimento em diâmetro (Carvalho 1994), e por esse motivo, é utilizada em reflorestamento de áreas degradadas em plantios mistos (Lorenzi 1998). Nestes plantios, a espécie tem demonstrado melhor crescimento em solos com nível de fertilidade química elevada, com boa disponibilidade hídrica durante o período de crescimento e com textura franco a argilosa (Carvalho 1994).

Plantios experimentais visando à recuperação de áreas degradadas têm sido conduzidos, desde 1997, na Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, UNESP, Campus de Botucatu, estado de São Paulo. Nestes plantios, a espécie *E. contortisiliquum* tem apresentado variação no crescimento em diâmetro e também diferenças anatômicas no lenho do caule quando se comparou as plantas que cresceram em diferentes solos, Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo. As plantas que cresceram sobre Nitossolo Vermelho apresentaram vasos com maior diâmetro, elementos de vaso mais compridos, pontuações intervasculares com diâmetro maior e fibras com diâmetro maior e paredes mais espessas (Santos 2007).

A hipótese do presente trabalho é a de que as diferenças anatômicas do lenho das plantas adultas em resposta aos diferentes solos em campo (Santos 2007) também sejam observadas nas plantas jovens cultivadas nas mesmas condições edáficas, em viveiro.

Assim, este estudo tem o objetivo de comparar a anatomia do lenho de caule de plantas jovens cultivadas em Nitossolo Vermelho e em Latossolo Vermelho Amarelo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Viveiro de Produção de Mudanças Florestais do Departamento de Recursos Naturais – Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, SP.

Sementes de *E. contortisiliquum* foram coletadas de árvores que cresceram em dois tipos de solo (área com Nitossolo Vermelho pertencente à Fazenda Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu, e área com Latossolo Vermelho Amarelo, pertencente à Fazenda Edgárdia, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu). Ainda em campo e nestas mesmas áreas, coletou-se cada tipo de solo – Nitossolo Vermelho, de textura argilosa (Nogueira 2000) e Latossolo Vermelho Amarelo, álico e de textura areia franca (Nogueira 2000) – em 20 a 40 cm de profundidade, numa quantidade suficiente para encher vinte vasos de cinco litros cada (vide Tabela 1, compilada de Nogueira 2000, bem como a interpretação realizada com base na classificação apresentada por Tomé 1997).

Tabela 1 – Interpretação dos teores das características químicas dos solos Nitossolo Vermelho (NV) e Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)

	<i>Solo</i>	<i>Análise de solo*</i>	<i>Interpretação</i>	<i>Classificação**</i>
pH CaCl ₂	NV	5,6 a 5,8	Acidez baixa	Acidez muito alta: ≤ 4,3 Acidez alta: 4,4 – 5,0 Acidez média: 5,1 – 5,5 Acidez baixa: 5,6 – 6,0 Acidez muito baixa: 6,0 – 7,0 Neutro: 7,0 Alcalino > 7,0
	LVA	4,3 a 4,8	Acidez alta a muito alta	
MO	NV	26 a 51	Alto	Baixo: ≤ 15 Médio: 15 a 25 Alto: > 25
	LVA	3,1 a 17	Baixo a Médio	
P resina	NV	13 a 40	Alto a muito alto	Muito baixo: 0 – 2 Baixo: 3 – 5 Médio: 6 – 8 Alto: 9 – 16 Muito alto: > 16
	LVA	2,6 a 15	Baixo a alto	
S-SO₄⁻²	NV	22 a 13	Alto	Baixo: ≤ 4,0 Médio: 5,0 – 10,0 Adequado = 10,0
	LVA	5,5 a 8,4	Médio	
K	NV	1,8 a 4,7	Médio a alto	Muito baixo: 0,0 – 0,7 Baixo: 0,8 – 1,5 Médio: 1,6 – 3,0 Alto: 3,1 – 6,0 Muito alto: > 6,0
	LVA	1,2 a 3,1	Baixo a médio	
Ca mmol _c dm ⁻³	NV	26 a 51	Médio a alto	Baixo: < 20,0 Médio: 20,0 – 40,0 Alto: > 40,0
	LVA	3,1 a 17	Baixo	
Mg mmol _c dm ⁻³	NV	15 a 26	Alto	Baixo: < 4,0 Médio: 4,0 – 8,0 Alto: > 8,0
	LVA	1,8 a 5,2	Baixo a médio	
Al	NV	0,5 a 0,1	Baixo	Baixo: < 5,0 Médio: 5,0 – 15,0 Alto: > 15,0
	LVA	2,5 a 0,6	Baixo	
V%	NV	72% a 82%	Eutrófico	Solo eutrófico (fértil): V% ≥ 50%
	LVA	36% a 57%	Distrófico	Solo distrófico (pouco fértil): V% ≤ 50%
B	NV	0,28 a 0,09	Médio a baixo	Baixo: < 0,20 Médio: 0,20 – 0,60 Alto: > 0,60
	LVA	0,42 a 0,08	Médio a baixo	
Cu	NV	13,2 a 16,2	Alto	Baixo: < 0,20 Médio: 0,3 – 0,8 Alto: > 0,8
	LVA	0,63 a 0,42	Médio	
Fe	NV	13,8 a 24,0	Alto	Baixo: < 4,0 Médio: 5,0 – 12,0 Alto: > 12,0
	LVA	22,45 a 30,0	Alto	
Mn	NV	176 a 276	Alto	Baixo: < 1,2 Médio: 1,3 – 5,0 Alto: > 5,0
	LVA	34 a 39,55	Alto	
Zn	NV	2,06 a 5,54	Alto	Baixo: < 0,5 Médio: 0,6 – 1,2 Alto: > 1,2
	LVA	0,34 a 2,02	Baixo a alto	

* Fonte: Nogueira (2000)

** Fonte: Valores de referência (Tomé Jr. 1997)

Dez vasos com cada um dos diferentes solos (Nitossolo Vermelho – NV e Latossolo Vermelho Amarelo – LVA), e seis vasos com substrato comercial contendo vermiculita e casca de pinus (testemunha) foram montados no viveiro de mudas. Sem discriminar o solo da

área de origem das sementes, as sementes coletadas em campo foram colocadas para germinar após a quebra de dormência por escarificação mecânica com lixa seca. A data de plantio foi 13 de julho de 2006. Foram plantadas três sementes em cada vaso e após a germinação realizou-se o desbaste, permanecendo no vaso a muda mais vigorosa. No total, foram mantidas no viveiro 26 plantas, sendo 10 repetições para NV, 10 repetições para LVA e 6 para substrato comercial. Estas plantas cresceram no viveiro a pleno sol, e receberam a mesma quantidade de água por irrigação, com frequência de três irrigações diárias nos dias quentes e duas nos dias frios. Durante todo o período de crescimento (dois anos) as plantas de *E. contortisiliquum* não receberam tratamento com fertilizantes.

O crescimento em altura e diâmetro das 26 plantas no viveiro foi acompanhado mensalmente desde outubro de 2006 até agosto de 2008, quando as plantas estavam com dois anos de idade. O diâmetro das plantas foi obtido na região do colo com o auxílio de um paquímetro digital. A altura foi obtida utilizando fita métrica.

Após 24 meses de desenvolvimento das plantas no viveiro, cinco plantas cultivadas em NV e cinco cultivadas em LVA foram selecionadas para os estudos anatômicos. As amostras utilizadas nas análises anatômicas microscópicas foram obtidas a 15 cm da base do solo (Fig. 1). Esta distância no caule foi adotada para que se evitasse a coleta de segmentos da região de transição entre caule e raiz.



Fig. 1: Local de amostragem no caule (indicado pela chave). Barra = 150 cm.

As amostras coletadas foram fixadas em FAA 70 (Johansen 1940) e posteriormente armazenadas em potes plásticos contendo etanol 70%.

Para a análise microscópica, do material coletado das plantas que cresceram em NV e LVA, foram retirados corpos-de-prova isentos de irregularidades de aproximadamente 1,5 x 1,5 x 1,5 cm³ que foram seccionados em micrótomo de deslize para obtenção de cortes histológicos de 10 a 15 µm de espessura, nos três planos convencionais (transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial), seguindo as técnicas de Johansen (1940). Os cortes histológicos a serem corados foram clarificados com hipoclorito de sódio 50% e em seguida lavados em água acética 1%. Estes cortes foram corados com safranina aquosa 1% (Bukatsch 1972) e azul de astra 1% (Roeser 1972), visando o contraste das estruturas celulares. Após a coloração, os cortes corados e os naturais foram desidratados através de uma série gradual de concentração de etanol (30% - 50% - 70% - 90% - 95% - 2x100%). A fixação do corante foi feita em acetato de butila e as lâminas com os cortes seccionados nos três planos foram montadas permanentemente com resina sintética Entellan[®].

Para a dissociação dos elementos celulares do lenho foram retirados pequenos palitos de madeira das amostras a aproximadamente 12 cm da base do solo, os quais foram colocados em frascos de vidro contendo solução de ácido acético glacial e água oxigenada 30 volumes, na proporção 1:1, método de Franklin (1945, modificado por Kraus e Arduin 1997). Cada frasco com os palitos de madeira foi vedado e levado à estufa a 60°C por cerca de 24 horas, ou até que os palitos ficassem esbranquiçados. Após esfriar, o material foi cuidadosamente lavado em água corrente. Para a montagem de lâminas semipermanentes, o material foi corado com safranina 1% em etanol 50% (Berlyn e Miksche 1976) e as lâminas montadas em glicerina diluída em água destilada (50%).

As análises qualitativa e quantitativa foram realizadas nos três planos usuais (transversal, tangencial e radial) e no material dissociado com utilização de microscópio de luz (ZEISS) seguindo as orientações propostas pelo IAWA Committee (1989). No caso da análise quantitativa, adotou-se o número de 30 medições para cada parâmetro.

Os dados quantitativos foram obtidos com um sistema de análise de imagens, programa Axiovision, capturadas por Câmera Axio Cam MRC acoplada em um microscópio de luz Axioscop 40 marca Zeiss, e transferidos para o programa Excel para serem efetuados os cálculos da média e desvio padrão para cada um dos parâmetros de todos os indivíduos.

A análise estatística para comparação entre as médias, utilizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis quantificadas, foi realizada utilizando o programa R[®] versão 2.8.1.

Fotografias macro e microscópicas foram obtidas dos três planos de corte, dos detalhes das células e dos conteúdos, salientando os aspectos de maior importância.

RESULTADOS

1. Tamanho das plantas em viveiro

A Figura 2 mostra plantas jovens de *E. contortisiliquum* cultivadas em Nitossolo Vermelho (NV), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), bem como em substrato comercial (testemunha).

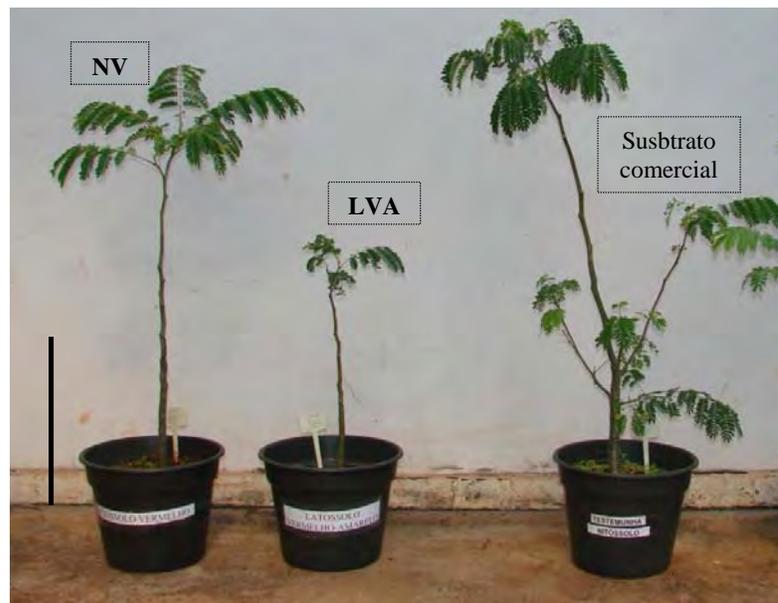


Fig. 2. Plantas jovens de *E. contortisiliquum* com aproximadamente um ano de idade cultivadas em vaso em Nitossolo Vermelho (NV), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e substrato comercial. Notar a altura menor das plantas cultivadas em LVA. Barra = 35 cm.

Estas plantas em viveiro passaram por alguns períodos de desfolha entre Fevereiro e Março de 2007, que pode ter sido causado por ataque de coleópteros da espécie *Diabrotica speciosa* Germar (Crysomelidae), o que comumente ocorre nesta espécie, e por dias seguidos de chuva intensa em Maio de 2008.

2. Características anatômicas microscópicas qualitativas do lenho de *E. contortisiliquum*

As características anatômicas qualitativas do lenho *E. contortisiliquum*, considerando os dois tipos de solos (NV e LVA), apresentaram-se similares entre todos os indivíduos analisados. As Figuras 4 A-I apresentam as características anatômicas qualitativas do lenho de caule, sem discriminar o tipo de solo; estas características estão descritas a seguir:

Camadas de crescimento: demarcadas por espessamento na parede das fibras e achatamento radial das fibras (Figs. 4B).

Vasos: porosidade difusa (Figs. 4B), solitários (27,59% em NV e 30,55% em LVA) e múltiplos (72,41% em NV e 69,45% em LVA) de 2 a 30 vasos/mm², e agrupamentos racemiformes (Fig 4B). Presença de elementos de vaso sem apêndice e com apêndices em uma ou ambas as extremidades (Fig. 4G). Placas de perfuração simples (Figs. 4E;G). Pontoações intervasculares alternas (Figs. 4E) e guarnecidas (Fig. 4E) com contorno tendendo a poligonal (Figs. 4E); pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares (Fig. 4F).

Parênquima axial: predominantemente vasicêntrico (Fig. 4B) eventualmente aliforme losangular, com confluências; constituído de 2 a 4 células por série (Fig. 4D).

Parênquima radial: homogêneo, constituído exclusivamente de células procumbentes (Figs. 4D), predominantemente unisseriados (Figs. 4C).

Fibras: com paredes predominantemente finas (Figs. 4B), com pontoações diminutas a aparentemente simples. Presença de fibras gelatinosas (Fig. 4B) e de fibras com extremidade bifurcada (4H).

Inclusões orgânicas: grãos de amido em células do parênquima axial (Fig. 4D).

Inclusões inorgânicas: cristais prismáticos formando séries cristalíferas em células do parênquima axial (Fig.4I) com até 21 cristais por série.

3. Características anatômicas quantitativas do lenho de *E. contortisiliquum*

As características anatômicas quantitativas estão apresentadas na Tabela 2 e a análise estatística que compara as médias dos espécimes nos dois solos está apresentada na Tabela 3.

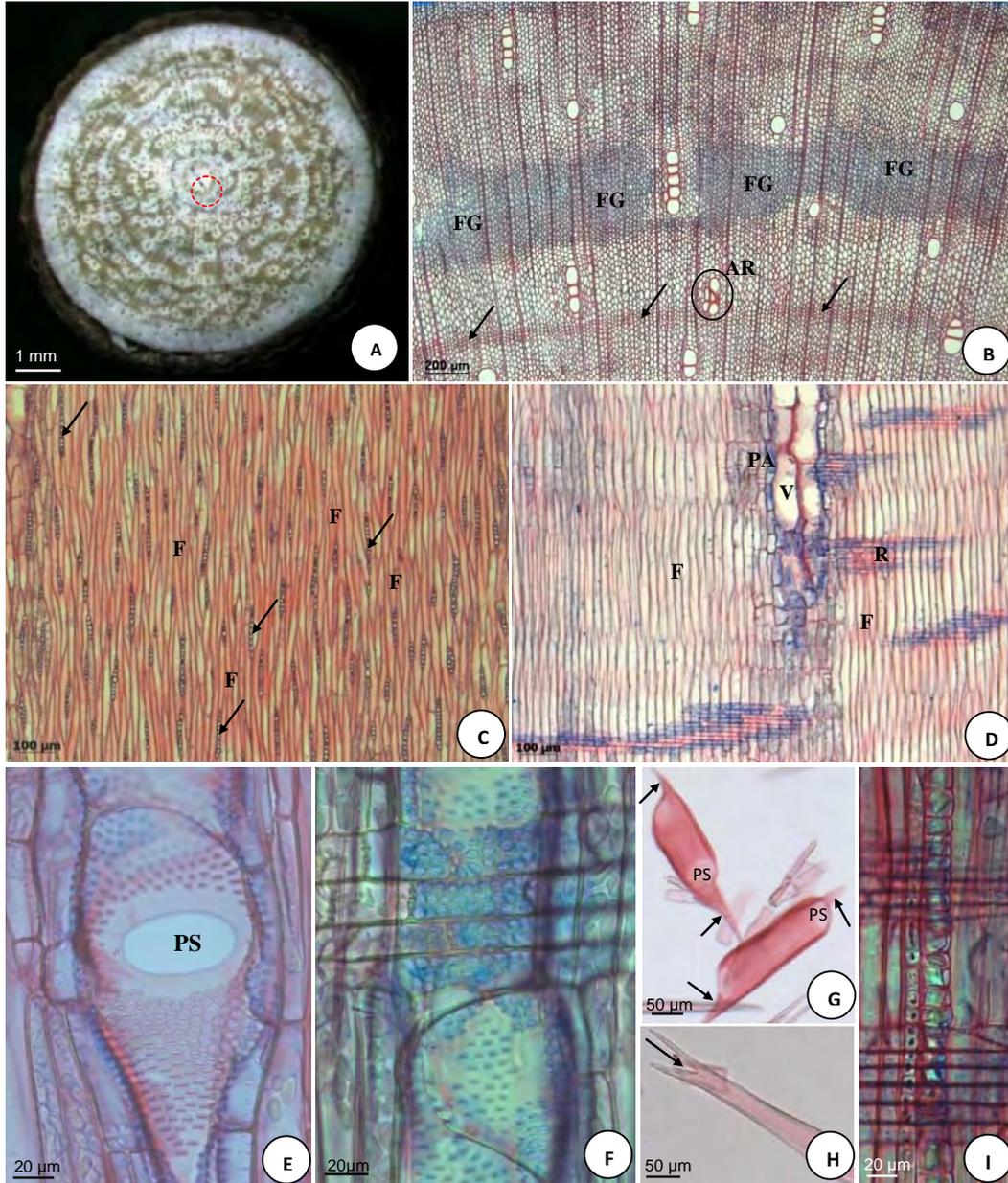


Figura 4 A-I: Lenho do caule de plantas de *E. contortisiliquum*. A: Secção transversal do lenho em macroscopia. Notar excentricidade da medula. B: Secção transversal do lenho mostrando marcador das camadas de crescimento (setas), porosidade difusa e grupo grande de fibras gelatinosas (FG); AR = agrupamento racemiforme de vasos. C e D = Secções longitudinais. C: Secção longitudinal tangencial mostrando fibras (F) e raios predominantemente unisseriados (setas). D: Secção longitudinal radial mostrando corpo do raio composto apenas por células procumbentes (R); F = fibras; PA = células do parênquima axial contendo grande quantidade de grãos de amido; V = vaso. E-F: Secções longitudinais radiais. E: Secção longitudinal radial mostrando pontoações intervasculares alternas e guarnecidas, e placa de perfuração simples (PS). F: Secção longitudinal radial mostrando pontoações raiovasculares semelhantes às intervasculares. G: Elementos de vaso com apêndices (setas) em ambas as extremidades; PS = Placas de perfuração simples. H: Fibra em material dissociado com extremidade bifurcada (seta na bifurcação). I: Secção longitudinal radial sob luz polarizada mostrando série cristalífera em células do parênquima axial.

Tabela 2 – Características anatómicas quantitativas (média ± desvio padrão) do lenho de caule em plantas jovens de *E. contortisiliquum*. NV = Nitossolo Vermelho. LVA = Latossolo Vermelho Amarelo. R (1 a 5) = número de repetições. Esp. = espessura. Intervasc.= intervasculares. Raio-vasc. = raio-vasculares. Valores entre parênteses indicam a unidade utilizada.

Solo	Vasos					Fibras					Raios			Diâmetro das pontoações	
	Comprimento (μm)	Diâmetro (μm)	Frequência (n ^o /mm ²)	Comprimento (μm)	Diâmetro (μm)	Esp. parede (μm)	Altura (μm)	Frequência (n ^o /mm)	Intervasc. (μm)	Raio-vasc. (μm)					
NV	R1	225,03 ± 57,77	56,73 ± 14,84	18,10 ± 6,44	444,46 ± 76,08	21,73 ± 4,71	3,22 ± 0,75	109,24 ± 50,23	6,5 ± 1,35	6,72 ± 0,75	6,40 ± 0,85				
	R2	240,10 ± 49,44	68,88 ± 14,69	12,6 ± 4,01	437,55 ± 81,91	21,94 ± 3,86	2,62 ± 0,57	111,66 ± 44,68	6,6 ± 1,43	6,80 ± 0,72	4,97 ± 0,42				
	R3	230,05 ± 62,34	49,16 ± 13,26	8,43 ± 3,07	444,22 ± 83,99	24,31 ± 5,60	3,16 ± 0,80	107,51 ± 53,29	6,3 ± 1,83	6,61 ± 0,67	5,80 ± 0,58				
	R4	254,71 ± 43,65	54,03 ± 11,22	16,68 ± 8,05	431,30 ± 90,86	21,94 ± 2,74	2,71 ± 0,66	112,72 ± 48,73	7,6 ± 1,26	5,57 ± 0,48	5,79 ± 0,84				
	R5	206,16 ± 38,08	55,27 ± 14,10	15,42 ± 6,64	444,07 ± 92,41	20,11 ± 4,08	2,83 ± 0,56	121,43 ± 54,15	7,6 ± 1,35	6,84 ± 0,58	5,83 ± 0,84				
LVA	R1	170,38 ± 37,05	69,40 ± 13,05	8,33 ± 5,44	362,63 ± 86,44	17,73 ± 3,09	2,53 ± 0,61	133,47 ± 72,09	6,1 ± 1,10	6,28 ± 0,63	4,55 ± 0,45				
	R2	261,61 ± 56,89	54,21 ± 15,08	19,63 ± 7,31	478,16 ± 116,03	22,31 ± 2,73	2,98 ± 0,71	154,21 ± 123,22	7,4 ± 1,35	6,35 ± 0,69	4,20 ± 0,45				
	R3	213,99 ± 48,25	62,32 ± 14,20	13,67 ± 4,99	403,47 ± 75,32	19,66 ± 2,73	2,86 ± 0,66	118,37 ± 62,15	6,6 ± 1,35	6,55 ± 0,46	6,15 ± 0,97				
	R4	249,20 ± 43,30	59,38 ± 16,01	11,7 ± 8,88	374,93 ± 70,66	21,7 ± 2,91	2,90 ± 0,59	107,30 ± 55,18	6,7 ± 1,34	6,70 ± 0,59	6,35 ± 0,59				
	R5	253,24 ± 46,02	45,91 ± 11,81	26,47 ± 9,73	416,57 ± 85,92	19,68 ± 4,48	2,61 ± 0,59	109,25 ± 47,79	6,1 ± 0,99	5,12 ± 0,72	5,50 ± 0,57				

Tabela 3 – Análise estatística para o lenho de caule em plantas jovens de *E. contortisiliquum* que cresceram em NV e LVA ($p < 0,05$).

<i>Características anatômicas do lenho</i>		Área	Média	Tukey 5%	P>F
Vasos	Comprimento	NV	229,38	n.s.	0,9368
		LVA	229,83		
	Diâmetro	NV	57,00	n.s.	0,4420
		LVA	58,24		
	Frequência	NV	14,25	*	0,0209
		LVA	15,96		
Fibras	Comprimento	NV	439,92	**	0,0012
		LVA	407,15		
	Diâmetro	NV	22,01	***	0,0003
		LVA	23,76		
	Espessura da parede	NV	2,91	n.s.	0,0820
		LVA	2,78		
Raios	Altura	NV	112,51	n.s.	0,1107
		LVA	124,52		
	Frequência	NV	6,92	n.s.	0,2118
		LVA	6,58		
Pontoações	Intervasculares	NV	6,51	*	0,0167
		LVA	6,20		
	Raiovasculares	NV	5,76	**	0,0030
		LVA	5,34		

n.s. = não significativo; * = maior número de asteriscos indica maior significância.

Os resultados da Tabela 2 mostram elementos de vaso curtos ($\leq 350\mu\text{m}$) e de diâmetro pequeno (50 a $100\mu\text{m}$) na maioria dos espécimes analisados, sendo de diâmetro muito pequeno ($\leq 50\mu\text{m}$) em dois espécimes, apenas. Estas foram características de vasos sem variação significativa entre os solos (Tabela 3). A frequência de vasos, porém, variou significativamente entre os solos (Tabela 3), sendo baixa (5 a 20 vasos/ mm^2) na maioria dos espécimes analisados (Tabela 2) e média (20 a 40 vasos/ mm^2) em apenas um dos espécimes de LVA (Tabela 2).

Os resultados da Tabela 2 mostram também fibras curtas ($\leq 900\mu\text{m}$), sendo que o comprimento médio de fibras foi significativamente maior e o diâmetro médio foi significativamente menor no lenho das plantas cultivadas em NV (Tabela 3).

A espessura da parede das fibras e as características quantitativas de raios não variaram significativamente entre os solos (Tabela 3).

O diâmetro médio de pontoações intervasculares e raiovasculares foi significativamente maior no lenho das plantas de NV (Tabela 3).

DISCUSSÃO

As plantas de *E. contortisiliquum* se desenvolveram de forma diferente nos três tipos de substrato (NV, LVA e substrato comercial). A altura da parte aérea foi maior nas plantas cultivadas em substrato comercial, seguido pelas plantas que cresceram em NV. Segundo Silva (comunicação pessoal)¹, o crescimento maior em altura das plantas em substrato comercial pode ter sido pelo fato deste substrato ter uma adubação de base rica principalmente em fósforo. O melhor desenvolvimento das plantas que cresceram em NV em comparação com o das plantas que cresceram em LVA pode ser atribuído à composição deste solo, que apresenta altos teores de matéria orgânica, é mais rico em nutrientes, ou seja, é um solo eutrófico (fértil), e tem o pH mais favorável em comparação com o LVA (Tabela 1, compilada de Nogueira 2000).

A estrutura anatômica do lenho do caule das plantas de *Enterolobium contortisiliquum* concorda, em termos gerais, com o que já foi relatado para o lenho do caule desta espécie na literatura (Détienne e Jacquet 1983; Mainieri *et al.* 1983; Mainieri e Chimelo 1989; Richter e Dallwitz 2000; Alves e Angyalossy-Alfonso 2000, 2002; Insidewood 2004; Evans *et al.* 2006, Santos 2007 e Lima *et al.* 2009). Não houve diferença anatômica qualitativa quando se comparou o lenho das plantas que cresceram nos diferentes solos.

Camadas de crescimento foram observadas no lenho do caule das plantas de *E. contortisiliquum*. A ocorrência de camadas de crescimento no lenho do caule desta espécie também foi relatada por outros autores (Mainieri e Chimelo 1983; Boninsegna *et al.* 1989, Evans *et al.* 2006; Santos 2007 e Lima *et al.* 2009), entretanto, contrariamente, Mainieri e Chimelo (1989), Richter e Dallwitz (2000) e as informações do site InsideWood (2004) descrevem camadas de crescimento indistintas ou ausentes no lenho do caule dessa espécie. Sugere-se que em *E. contortisiliquum* a característica presença de camadas de crescimento não seja utilizada para identificação, uma vez que autores estudando a mesma espécie de locais distintos encontraram ora presença ora ausência de camadas de crescimento.

¹ Dra. Magali Ribeiro da Silva, responsável pelo Viveiro de Produção de Mudanças Florestais do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, UNESP.

As plantas de *E. contortisiliquum* deste estudo cresceram em condições semi-controladas, ou seja, receberam a mesma quantidade de água por irrigação durante todo o período de crescimento no viveiro e apesar dos solos NV e LVA, segundo e Gonçalves e Stape (2002), serem diferentes quanto à retenção de água (os Nitossolos possuem alta capacidade de retenção de água e Latossolos possuem baixa capacidade de retenção de água disponível), esta condição parece não ter interferido na formação das camadas de crescimento, pois o lenho das plantas que cresceram em ambos os solos apresentou esta característica de forma similar. O tipo de marcador observado, ou seja, achatamento radial e redução na dimensão das fibras está de acordo com Santos (2007), e parcialmente de acordo com Mainieri e Chimelo (1983), Boninsegna *et al.* (1989) e Lima *et al.* (2009), que indicam, além destas características, também a presença de faixas de parênquima marginal, o que não foi observado nas amostras deste estudo.

O lenho do caule das plantas de *E. contortisiliquum* apresentou porosidade difusa e, segundo Metcalfe e Chalk (1950, 1983), esta é situação comum entre as dicotiledôneas. Segundo Evans *et al.* (2006), praticamente todas as plantas lenhosas da subfamília Mimosoideae apresentam porosidade difusa, o que tem correspondência à sua distribuição geográfica principalmente tropical. Os autores também afirmam que a porosidade difusa é a mais comum em dicotiledôneas, concordando com a observação de Metcalfe e Chalk (1950, 1983) e de Wheeler e Bass (1991). Além da predominância em dicotiledôneas e em espécies da subfamília Mimosoideae, porosidade difusa é característica do lenho da maioria das espécies decíduas (Chowdhury 1964 *apud* Wheeler e Bass 1991). A decíduosidade reduz a taxa de transpiração, evitando que a planta perca água por evapotranspiração nas folhas nos períodos desfavoráveis, quando a disponibilidade hídrica do solo é menor. Esta é uma estratégia da planta para não permitir que a pressão do xilema atinja valores ainda mais negativos (Taiz e Zeiger 2004) nesta condição. *E. contortisiliquum* não forma vasos estreitos no lenho tardio, portanto a perda de folhas nos períodos desfavoráveis compensaria a ausência desta característica, considerando que vasos estreitos são mais seguros contra embolismos causados por déficit hídrico.

Agrupamentos racemiformes foram observados no lenho das plantas estudadas. Metcalfe e Chalk (1950) relataram a presença deste tipo de agrupamento em algumas espécies de *Enterolobium* e a presença dessa característica em *E. contortisiliquum* parece ser comum, pois também foi relatada por Richter e Dallwitz (2000), Evans *et al.* (2006) e Santos (2007).

O parênquima axial dos indivíduos analisados apresentou-se vasicêntrico, eventualmente aliforme losangular e formando confluências, características também observadas por Détienne e Jacquet (1983), Mainieri e Chimelo (1983), Mainieri e Chimelo (1989), Richter e Dallwitz (2000), InsideWood (2004), Evans *et al.* (2006) e Santos (2007). Entretanto, Boninsegna *et al.* (1989) e Lima *et al.* (2009) observaram também faixas de parênquima axial no lenho do caule desta espécie, o que não foi encontrado no lenho das plantas neste estudo. O parênquima axial ao redor dos vasos (vasicêntrico e/ou aliforme) tem importante função de armazenamento, como já relatado por Esau (1965). A mesma autora ainda se refere à importante contribuição destas células com a condução hídrica ascendente, função desempenhada pelos elementos traqueais no xilema (no caso, os vasos). Em *E. contortisiliquum* observou-se grande quantidade de amido nas células do parênquima axial, observação também feita por Santos (2007) e Lima *et al.* (2009) para a o lenho do caule desta mesma espécie. Segundo Braun (1984), o amido estocado em células do parênquima axial não seria tanto de reserva, mas depósitos de açúcares guardados como substância osmoticamente inativa, que estaria disponível no caso de haver necessidade de regular a concentração da seiva. No caso da espécie em estudo, o parênquima axial com abundância de amido teria fundamental importância, pois a quebra deste amido em açúcares contribuiria com uma maior força osmótica dentro dos vasos, garantindo a condução hídrica, mesmo nos períodos desfavoráveis. Embora as plantas de *E. contortisiliquum* tenham recebido irrigações diárias em viveiro, sofreram desfolha em determinadas épocas do ano. O amido estocado nas células do parênquima axial no lenho do caule das plantas estudadas pôde, desta forma, ter contribuído com a manutenção da condução hídrica das plantas em viveiro nos períodos em que estas sofreram a desfolha.

Fibras gelatinosas foram observadas no lenho do caule da espécie em estudo. Esau (1965) relaciona estas fibras à presença de lenho de tração no lenho das folhosas, o que está relacionado à tortuosidade no caule e à excentricidade da medula. No caso das plantas de *E. contortisiliquum* foi observado excentricidade da medula. Assim, a presença de fibras gelatinosas pode estar relacionada com a presença de lenho de tração. É importante ressaltar que apesar da excentricidade da medula, as plantas cresceram em condições de viveiro apresentavam copas com formato regular e a região de onde foram obtidas as amostras nos caules era retilínea. Segundo Paviani (1974) e Chalk (1989), as fibras gelatinosas podem estar relacionadas com o armazenamento de água, pois esse tipo de fibra é formado por uma grande quantidade de celulose, que é higroscópica e, portanto tem grande capacidade de adsorver água. Santos (2007) e Lima *et al.* (2009) também observaram fibras gelatinosas no

lenho do caule dos indivíduos de *E. contortisiliquum*, sugerindo que a sua presença auxilie no armazenamento de água no caule. No caso das plantas jovens que apresentaram medula excêntrica, a presença de fibras gelatinosas pode estar relacionada com o lenho de tração, assim como com o armazenamento de água.

Fibras com extremidades bifurcadas e com terminações de formatos variados foram observadas no lenho do caule das plantas jovens de *E. contortisiliquum*. Santos (2007) também observou fibras com terminações bifurcadas no lenho de caule das plantas adultas de *Enterolobium contortisiliquum*, Esemann-Quadros (2001) em *Clusia criuva* Cambess. (Clusiaceae), Longo (2006) em *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae) e Goulart e Marcati (2008) em *Lippia salviifolia* Cham. (Verbenaceae), concordando com Esau (1965); segundo a autora, estas fibras com extremidades bifurcadas são oriundas do crescimento intrusivo.

A presença de cristais prismáticos em células do parênquima axial é comum no lenho de alguns gêneros da família Leguminosae-Mimosoideae, inclusive o *Enterolobium* (Metcalf e Chalk (1950), e em *E. contortisiliquum* também foi observada por Detiënne e Jacquet (1983), Evans *et al.* (2006), Santos (2007) e Lima *et al.* (2009). Entretanto, Detiënne e Jacquet (1983) comentam que estes cristais podem ou não estar presentes no lenho desta espécie e quando estão presentes, ocorrem em pouca quantidade.

Quanto às características anatômicas quantitativas, as diferenças significativas observadas entre as plantas jovens que cresceram em condição de viveiro nos dois solos não foram as mesmas observadas por Santos (2007) nas plantas adultas desta mesma espécie. O efeito das características dos solos nas plantas jovens do presente estudo foi menor quando comparado com as plantas adultas (Santos 2007). Enquanto para as plantas adultas houve maior valor de diâmetro de vasos, comprimento de elementos de vaso, diâmetro e espessura da parede de fibras e diâmetro de pontoações intervasculares no lenho de plantas que cresceram em NV (ver Santos 2007), para as plantas jovens deste estudo houve maior valor apenas do comprimento de fibras e do diâmetro de pontoações intervasculares e raiovasculares no lenho das plantas que cresceram em NV e maior valor de frequência de vasos e diâmetro de fibras nas plantas que cresceram em LVA. Sendo de mesma procedência os solos onde as plantas adultas (Santos 2007) e as jovens cresceram, a idade do câmbio parece ter causado efeito importante nas dimensões das células que foram produzidas nas plantas jovens (ver Iqbal e Ghouse 1983), visto que as diferenças significativas não foram as mesmas e nem sempre os valores médios observados em cada característica anatômica do lenho das plantas jovens foram maiores em NV. Além do efeito da idade/tamanho da planta, é

importante considerar outros fatores que podem ter exercido influência nas variações encontradas quando se comparou a anatomia das plantas jovens com as adultas. No campo, as plantas adultas estavam sujeitas à sazonalidade da disponibilidade hídrica (Santos 2007), o que não acontecia no viveiro, onde as plantas recebiam irrigações diárias; a competição por nutrientes é maior no campo; e o crescimento radicular é limitado nos vasos onde as plantas cresceram em viveiro. Portanto, estes são outros fatores que podem afetar a absorção de água e assimilação de nutrientes pelas plantas, essencial para o crescimento e desenvolvimento celular, inclusive aquelas que constituem o xilema secundário.

Exceto frequência de vasos e de raios, os valores das características anatômicas quantitativas foram sempre menores para o lenho de caule das plantas jovens deste estudo, em comparação com o lenho das plantas adultas (Santos 2007). Segundo Gartner (1995), o lenho adulto tem células mais compridas que o lenho juvenil. Inúmeros trabalhos têm demonstrado que as dimensões das células no lenho juvenil são menores do que as do lenho adulto (ver Fukazawa e Ohtani 1982; Butterfield *et al.* 1993 e Malan 1995; Fan *et al.* 2009, Tsuchiya e Furukawa 2009 etc.). O comprimento das iniciais fusiformes aumenta com a idade do câmbio e afeta o potencial de crescimento das derivadas (Iqbal e Ghouse 1983); portanto, possivelmente a idade do câmbio esteja influenciando consideravelmente no tamanho das células derivadas das plantas de *E. contortisiliquum*.

Frequência de vasos maior foi observada no lenho das plantas jovens deste estudo, tanto as que cresceram em NV quanto as que cresceram em LVA (em torno de 15 vasos/mm²), em comparação com a frequência de vasos encontrada no lenho da mesma espécie, em plantas adultas, por outros autores (Détienne e Jacquet 1983; Mainieri e Chimelo 1989; Richter e Dallwitz 2000; Insidewood 2004; Evans *et al.* 2006; Santos 2007; e Lima *et al.* 2009) que não ultrapassou 9 vasos/mm². De Micco *et al.* (2008) observou que o lenho juvenil de arbustos e árvores do Mediterrâneo por eles estudadas apresentou características distintas do lenho adulto, sendo uma delas a frequência de vasos, que foi maior no lenho juvenil do que no lenho adulto. Segundo os autores, esta característica foi um dos fatores que indicou maior segurança na condução hídrica do lenho juvenil. Frequência maior de vasos no lenho juvenil também foi encontrada em *Tilia japonica* Simk. por Fukazawa e Ohtani (1982), em *Hyeronima alchorneoides* e *Vochysia guatemalensis* por Butterfield *et al.* (1993), em *Eucalyptus grandis* por Malan (1995) e em *Terminalia ivorensis* A. Chev. por Urbinati *et al.* (2003). Davidson (1972 *apud* Urbinati *et al.* 2003) explica que, no lenho juvenil, a frequência de vasos é elevada, pois o ritmo de crescimento no período de juvenilidade é mais acentuado. Durante a fase de crescimento rápido no viveiro, onde as plantas jovens de *E.*

contortisiliquum receberam irrigações diárias e desta forma não sofreram estresse hídrico, os vasos em grande quantidade compensariam o diâmetro menor destas células, garantindo a condução de água às outras partes da planta.

O lenho do caule das plantas jovens de *E. contortisiliquum* apresentou uma proporção maior de vasos múltiplos que o lenho das plantas adultas (Santos 2007). Nesta linha, De Micco *et al.* (2008) também observaram uma porcentagem maior de vasos múltiplos no lenho juvenil de *Cistus monspeliensis*, *Rhamnus alaternus*, *Myrtus communis*, *Quercus ilex* e *Ostrya carpinifolia*, em comparação com o lenho adulto. Vasos múltiplos podem contribuir com a segurança na condução hídrica, porque caso ocorra embolismo em um dos vasos, os outros que estão em contato podem assumir a função do vaso embolizado (Alves 1995). Embora nos dois anos em que as plantas foram mantidas no viveiro elas não tenham sofrido com falta d'água, caso elas tivessem sido posteriormente plantadas em campo, essa característica no lenho seria uma vantagem no caso de risco de embolismo causado por estresse hídrico.

Comparando o lenho das plantas que cresceram em NV com as que cresceram em LVA, foi observada frequência maior de vasos no lenho das plantas de LVA, o que pode estar relacionado com a diferença de retenção de água entre os dois solos. A maior frequência de vasos no lenho de plantas que cresceram no solo cuja capacidade de retenção de água é menor (LVA, textura arenosa) pode assegurar a condução hídrica no lenho dessas plantas.

O diâmetro dos vasos não variou entre as plantas que cresceram nos dois solos. Isto pode ser explicado pelo fato de que as plantas jovens de *E. contortisiliquum* no viveiro aparentemente não sofreram estresse hídrico, pois receberam irrigações diárias.

Fibras mais compridas foram observadas no lenho das plantas cultivadas em NV, solo com maior capacidade de retenção de água. Fibras mais compridas no lenho de plantas que cresceram em ambientes com maior disponibilidade hídrica também foram observadas por Barajas-Morales (1985), Luchi (2004) e Santos (2007). As dimensões das células vegetais, dentre elas as fibras, dependem de características genéticas e de fatores ecológicos. Em condições de maior disponibilidade hídrica, por exemplo, as iniciais fusiformes ficam mais túrgidas e sofrem distensão celular (Levitt 1980) gerando células maiores. A textura argilosa e conseqüentemente a maior retenção de água de NV pode ter contribuído com os valores maiores do comprimento das fibras no lenho das plantas de *E. contortisiliquum* que cresceram neste solo.

Quanto ao diâmetro das pontoações intervasculares, Luchi (2004) e Luchi *et al.* (2005) observaram valores maiores para esta característica no lenho das plantas que cresceram em solo mais úmido. Pontoações raiovasculares com diâmetro maior foram também observadas

por Luchi *et al.* (2005) nas plantas de solo mais úmido. Estas mesmas características (pontoações intervasculares e raiovasculares maiores em solo de maior capacidade de retenção de água – NV) também foram encontradas por Santos (2007) para plantas adultas da mesma espécie. Estes resultados para o lenho de caule de *E. contortisiliquum* sugerem que estas características sejam de valor ecológico; entretanto não foram encontrados registros na literatura com tais considerações e estas características têm sido consideradas conservativas, pois são úteis na identificação de espécies (ver IAWA Committee 1989).

Entre as características anatômicas quantitativas do lenho das plantas jovens e adultas de *E. contortisiliquum* que cresceram nestas diferentes condições edáficas, houve variação na frequência de vasos, maior no lenho das plantas que cresceram em solo com menor capacidade de retenção de água (LVA) e valores maiores de comprimento dos elementos de vaso e de diâmetro de vasos, comprimento e largura de fibras e diâmetro de pontoações no lenho das plantas que cresceram em NV, cuja capacidade de retenção de água e nível de fertilidade são maiores. Estas variações também foram observadas em um número relativamente grande de espécies por outros autores, como foi comentado anteriormente, cujo lenho foi estudado com enfoque ecológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E. S. (1995) The effects of the pollution on wood of *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae). IAWA Journal 16(1): 69-80
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. (2000) Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. IAWA Journal 21(4):3-30
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. (2002) Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. IAWA Journal 23(4):391-418
- BARAJAS-MORALES, J. (1985) Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. IAWA Bulletin 6:355-364.
- BERLYN, G. P.; MIKSCH, J. P. (1976). Botanical microtechnique and cytochemistry. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- BONINSEGNA, J. A.; VILLALBA, R.; AMARILLA, L.; OCAMPO, J. (1989) Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. IAWA Bulletin 10(2):161-169.
- BRAGA, R. Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará. (1976) Mossoró: ESAM. Coleção Mossorense, 42. 3ª edição.
- BRAUN, H. J. (1984) The significance of the accessory tissues of the hydrosystem for osmotic water shifting as the second principle of water ascent, with some thoughts concerning the evolution trees. IAWA Bulletin 5(4): 275-294.
- BUKATSCH, F. (1972) Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. Mikrokosmos 61:255.
- BUTTERFIELD *et al.* (1993) Radial variation in wood specific gravity, fibre length and vessel area for two central american hardwoods: *Hyeronima alchorneoides* and *Vochysia guatemalensis*: natural and plantation grown trees. IAWA Journal 14 (2): 153-161.
- CAMARGOS, J. A. A.; CORADIN, V. T. R. C.; CZARNESKI, C. M.; OLIVEIRA, D.; MEGUERDITCHIAN, I. (2001) Catálogo de Árvores do Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Laboratório de Produtos Florestais. Brasília: Ed. IBAMA.
- CARVALHO, P. E. R. (1994) Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Colombo, EMBRAPA – CNPF.
- DE MICCO, V.; ARONNE, G; BAAS, P. (2008) Wood anatomy and hydraulic architecture of stems and twigs of some Mediterranean trees and shrubs along a mesic-xeric gradient. Trees 2:643-655.

- DETIENNE, P. ; JACQUET, P. (1983) Atlas d'identification des bois de l'Amazonie e régions voisines. Nogent-sur-Marne: Centre technique Forestier Tropical. 640 p.
- ESAU, K. (1965) Plant Anatomy. 2 ed. New York: John Wiley and Sons.
- EVANS, J. A.; GASSON. P. E.; LEWIS, G. P (2006). Wood anatomy of the Mimosoideae (Leguminosae). IAWA Journal, supplement 5.
- FAN, Z-X; CAO, K-F; BECKER, P. (2009) Axial and radial variation in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. IAWA Journal 30(1): 1-13.
- FRANKLIN, G. L. (1945) Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resins composites, and a new macerating method for wood. Nature v. 155, n. 3924, p.51.
- FUKAZAWA, K; OHTANI, J. (1982) Within-a-tree variation of wood element size in *Tilia japonica*. IAWA Bulletin n.s., 3: 201-206.
- GARTNER, B. L. (1995) Patterns of xylem variation within a tree and their hydraulic and mechanical consequences. In: Plant Stems: Physiology and Functional Morphology. Gartner, B. L. ed. Academic Press, San Diego, California. 440 p.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (2002) Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF.
- GOULART, S. L. ; MARCATI, C. R. (2008) Anatomia comparada do lenho em raiz e caule de *Lippia salviifolia* Cham. (Verbenaceae). Revista Brasileira de Botânica 31(2): 263-275.
- IAWA COMMITTEE (International Association of Wood Anatomists Committee). (1989). List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin 10:219-332.
- INSIDEWOOD. 2004-onwards. Disponível em:
<http://insidewood.lib.ncsu.edu/search/index.cfm?e=fulldescription&q=2860>. Acessado em 15/12/2006.
- IQBAL, M.; GHOUSE, A. K. M. (1983) An analytical study on cell size variation in some arid zone trees of India: *Acacia nilotica* and *Prosopis spicigera*. IAWA Bulletin n.s., 4 (1): 46-52.
- JOHANSEN, S. (1940) A Plant microtetechnique. McGraw_Hill Book Co, New York.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. (1997) Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Seropédica, RJ: EDUR.
- LEVITT, J. (1980) Responses of plants to environmental stresses. v.I – Chilling, freezing and high temperature stresses. Physiological Ecology – a series of monographs, texts and treatises. Academic Press, New York.
- LIMA, R. S.; OLIVEIRA, P. L.; RODRIGUES, L. R. (2009) Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae-Mimosoideae) ocorrente em dois ambientes. Revista Brasil. Bot., 32(2): 361-374.

- LONGO, L. R. (2006) Anatomia comparada da madeira e da casca de raiz e caule em *Cytherexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae). Relatório de pesquisa em Ciência Florestal para obtenção de título de Engenheiro Florestal. 86 p. Universidade Estadual Paulista, Depto. de Recursos Naturais – Ciências Florestais.
- LORENZI, H. (1998) Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2ª ed. Nova Odessa, Editora Plantarum.
- LOUREIRO, A. A; SILVA, M. F. (1968) Catálogo das madeiras da Amazônia. Ministério do Interior. Belém: Superintendência do desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), v. 2.
- LUCHI, A. E. (2004). Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. *Revista Brasileira de Botânica*, 27(2): 271-280.
- LUCHI, A. E.; SILVA, L. C. P.; MORAES, M. A. (2005). Anatomia comparada do lenho de *Xylopia aromática* (Lam.) Mart. em áreas de cerrado e plantação de *Pinus elliottii* Engelm. *Revista Brasileira de Botânica*, 28(4): 809-820.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P.; ALFONSO, V. A. (1983) Manual de Identificação das Principais Madeiras Comerciais Brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Divisão de Madeiras, 241p.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. (1989) Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Divisão de Madeiras, 418p.
- MALAN, F. S. (1995) *Eucalyptus* improvement for lumber production. Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. (1950) *Anatomy of Dicotyledons*. v. 1 e 2. Oxford: Clarendon Press.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. (1983) *Anatomy of Dicotyledons*. v. 2. Oxford: Clarendon Press. 297p.
- NOGUEIRA Jr., L. R. (2000) Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamento com diferentes associações de espécies da Mata Atlântica. 2000. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- PAVIANI, T.I. (1974) Sobre a ocorrência de fibras gelatinosas em *Plathymenia reticulata* Benth. *Ciência e Cultura*. 26:783-786.
- RICHTER, H.G; DALLWITZ, M.J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 16th April 2006. Disponível em: <http://delta-intkey.com>. Acessado em 15/12/2006.
- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

- ROESER, K. R. (1972) Die Nadel der Schwarzkiefer. Massenprodukt und kunstwerk der Natur. Mikrokosmos v. 61, p. 33-36.
- SANTOS, T. A. (2007) Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosideae) crescendo em diferentes condições edáficas. 2007. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. (2004) Fisiologia Vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 719 p.
- TOMÉ Jr, J. B. (1997) Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária. 247p.
- TSUCHIYA, R. ;FURUKAWA, I. (2009) Radial variation in the size of axial elements in relation to stem increments in *Quercus serrata*. IAWA Journal, 30(3): 331-342.
- TSUCHIYA, R. ;FURUKAWA, I. (2009) Radial variation of vessel lumen diameter in relation to stem increments in 30 hard-wood species. IAWA Journal, 30(1): 15-26.
- URBINATI, C *et al.* (2003) Variação estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. Acta Botanica Brasilica 17(3): 421-437,.
- WHEELER, E; BASS, P. (1991) A survey of the fossil record for dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy. IAWA Bulletin n.s., 12 (3): 275-332.

Capítulo 2

Efeito de diferentes condições edáficas na estrutura anatômica do lenho de raiz e caule de plantas jovens de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosoideae)¹

TALITA DOS SANTOS ANGÉLICO^{2;4}, CARMEN REGINA MARCATI³, MAGALI RIBEIRO DA SILVA³

- (1) Parte da dissertação de mestrado da primeira autora, desenvolvida no Departamento de Recursos Naturais – Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, CP 237, CEP 18603-970, Botucatu, SP, Brasil.
- (2) Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, s/n, CP 510, CEP 18618-000, Botucatu, SP, Brasil.
- (3) Departamento de Recursos Naturais – Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, CP 237, CEP 18603-970, Botucatu, SP, Brasil.
- (4) Endereço eletrônico para correspondência:
E-mail: talitangelico@hotmail.com

RESUMO – A estrutura anatômica do lenho de caule e raiz de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong foi comparado entre plantas cultivadas em diferentes condições edáficas no Viveiro de Produção de Mudanças Florestais na Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, SP, Brasil. Plantas de dois anos de idade que cresceram em Latossolo Vermelho Amarelo e em Nitossolo Vermelho foram estudadas. Amostras lenhosas do caule principal foram coletadas acima de 15cm do nível do solo e amostras de raiz foram coletadas abaixo de 10cm do nível do solo. As plantas que cresceram em Nitossolo Vermelho apresentaram crescimento maior em altura da parte aérea e diâmetro do caule. As características anatômicas qualitativas tanto do lenho de raiz quanto do de caule permaneceram similares entre os dois solos. Quanto às características anatômicas quantitativas, as plantas que cresceram em Nitossolo Vermelho tiveram mais vasos por mm² e fibras mais compridas e diâmetro maior de pontoações intervasculares e raiovasculares no lenho de caule; no lenho de raiz, elementos de vaso mais largos e vasos mais compridos e fibras com parede mais espessa e mais largas e diâmetro maior de pontoações raiovasculares. Comparando o lenho de caule com o de raiz, cristais prismáticos foram observados no lenho do caule, somente, e maior quantidade de fibras semelhantes ao parênquima foi observada no lenho de raiz. Quanto às características anatômicas quantitativas, o caule apresentou vasos mais largos e numerosos, fibras mais curtas, de menor diâmetro e com parede mais espessa, raios mais altos e numerosos, além de menor diâmetro de pontoações intervasculares e raiovasculares em comparação com o lenho de raiz. As variações na estrutura anatômica do lenho de caule e raiz apresentadas pelas plantas que cresceram nestas diferentes condições edáficas ajudam a compreender as variações estruturais de *E. contortisiliquum* em resposta a diferentes condições ambientais.

Palavras chave: anatomia da madeira, caule, *Enterolobium contortisiliquum*, Latossolo Vermelho Amarelo, Nitossolo Vermelho, raiz.

ABSTRACT – Stem and root wood anatomic structure were compared among *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosoideae) plants cultivated in different soil under nursery conditions in the Faculty of Agronomical Sciences – FCA, UNESP, Botucatu, SP, Brazil. Two years old plants growing in Oxisol Medium Texture soil and in Alfisol Clay Texture soil were studied. Stem samples from the main stem were collected 15 cm from the ground level and root samples from the main root were collected 10 cm below the ground level. Plants growing in Alfisol Clay Texture soil were taller and also larger in stem diameter. The wood anatomy features of the plants remained qualitatively similar in both soils. Quantitatively, plants growing in the Alfisol Clay Texture soil had more vessels per mm², longer fibers and larger diameter of intervessel and vessel-ray pitting in the stem; in the root, wider and longer vessel elements, wider fibers with thicker walls and larger diameter of vessel-ray pitting were observed. Comparing stem and root wood anatomy, prismatic crystals were observed in the stem only and larger amount of parenchyma-like fibers in the root wood. The stem wood also showed wider and more vessels/mm², shorter fibers with smaller diameter and with thicker wall, taller rays and more rays/mm, and smaller diameter of intervessel and vessel-ray pitting than root wood. *E. contortisiliquum* is fast growing species and is largely used for reforestation of degraded areas, therefore, studies on stem and root wood structure under different edaphic conditions may be used as an important tool to understand the structural variations in response to different soil types.

Key words: Wood anatomy, stem, *Enterolobium contortisiliquum*, Alfisol Clay Texture, Oxisol Medium Texture, root.

INTRODUÇÃO

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong, pertencente à família Fabaceae-Mimosoideae, é conhecida popularmente como tamboril, timboúva ou orelha-de-negro (Richter e Dallwitz 2000; Camargos *et al.* 2001). O nome timboúva provém de timbó-yba, que na linguagem indígena significa árvore de espuma, referente à espuma que produz o fruto (Braga 1976). O elevado teor de saponina contido na casca e nos frutos da planta permite sua utilização na produção de sabão caseiro, ou ainda na medicina popular (Carvalho 1994).

A madeira de *E. contortisiliquum* pode ser utilizada em carpintaria, marcenaria, na fabricação de tacos e brinquedos, na construção naval e civil, como embalagens e caixotaria leve, compensados, miolos de portas e painel, dormentes, na fabricação de palitos de fósforo, lápis, além de ser adequada para produzir celulose (Loureiro e Silva 1968; Carvalho 1994).

A espécie é considerada pioneira por alguns autores (Reitz *et al.* 1978 *apud* Carvalho 1994; Lorenzi 1998), mas também ocorre em vegetações secundárias em processo de regeneração acentuada, como clareiras, capoeirões e matas degradadas (Carvalho 1994). A espécie mostra plasticidade ecológica, pois é encontrada em várias regiões fitoecológicas do Brasil (Carvalho 1994), desde o Agreste e Caatinga no Nordeste, no Cerrado na Região Central, em formações florestais na Mata Atlântica no Sudeste e no Sul do país (Mesquita 1990 *apud* Lima *et al.* 2009; Lorenzi 1998).

E. contortisiliquum têm mostrado crescimento rápido no campo, principalmente quando se considera o crescimento em diâmetro (Carvalho 1994), o que justifica sua utilização em reflorestamento de áreas degradadas em plantios mistos (Lorenzi 1998). Nestes plantios, a espécie tem demonstrado melhor crescimento em solos com nível de fertilidade química elevada, com boa disponibilidade hídrica durante o período de crescimento e com textura franco a argilosa (Carvalho 1994).

Plantios experimentais visando à recuperação de áreas degradadas têm sido conduzidos, desde 1997, na Faculdade de Ciências Agrônomicas – FCA, UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo. Nestes plantios, *E. contortisiliquum* tem apresentado variação no crescimento em diâmetro e também diferenças anatômicas no lenho do caule quando se comparou as plantas que cresceram em áreas com diferentes solos, sendo uma área com Nitossolo Vermelho e a outra área com Latossolo Vermelho Amarelo. As plantas que cresceram sobre Nitossolo Vermelho apresentaram vasos lenho com diâmetro maior, elementos de vaso mais compridos, pontoações intervasculares com diâmetro maior e fibras com diâmetro maior e paredes mais espessas (Santos 2007).

A hipótese do presente trabalho é a de que plantas jovens de *E. contortisiliquum* que cresceram nestas diferentes condições edáficas, em viveiro, apresentem também variação no crescimento e nas características anatômicas da madeira.

No presente estudo foram analisadas as variações quanto ao crescimento em altura e diâmetro das plantas jovens de *E. contortisiliquum* cultivadas em viveiro nos diferentes solos (Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo), bem como as porcentagens de tecidos produzidos e as variações anatômicas do lenho de caule e de raiz destas plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo, sementes de tamboril (*E. contortisiliquum*) foram coletadas de árvores que ocorrem em áreas pertencentes à Fazenda Lageado e Fazenda Edgárdia na Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu. Na Fazenda Lageado também coletou-se Nitossolo Vermelho, de textura argilosa (Nogueira 2000) e na Fazenda Edgárdia também coletou-se Latossolo Vermelho Amarelo, álico e de textura areia franca (Nogueira 2000). Os solos foram coletados em 20 a 40 cm de profundidade, em quantidade suficiente para encher vinte vasos de cinco litros cada (vide Tabela 1, compilada de Nogueira 2000, bem como a interpretação realizada com base na classificação apresentada por Tomé, 1997).

Tabela 1 – Interpretação dos teores das características químicas dos solos Nitossolo Vermelho (NV) e Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)

	<i>Solo</i>	<i>Análise de solo*</i>	<i>Interpretação</i>	<i>Classificação**</i>
pH CaCl ₂	NV	5,6 a 5,8	Acidez baixa	Acidez muito alta: ≤ 4,3 Acidez alta: 4,4 – 5,0 Acidez média: 5,1 – 5,5 Acidez baixa: 5,6 – 6,0 Acidez muito baixa: 6,0 – 7,0 Neutro: 7,0 Alcalino > 7,0
	LVA	4,3 a 4,8	Acidez alta a muito alta	
MO	NV	26 a 51	Alto	Baixo: ≤ 15 Médio: 15 a 25 Alto: > 25
	LVA	3,1 a 17	Baixo a Médio	
P resina	NV	13 a 40	Alto a muito alto	Muito baixo: 0 – 2 Baixo: 3 – 5 Médio: 6 – 8 Alto: 9 – 16 Muito alto: > 16
	LVA	2,6 a 15	Baixo a alto	
S-SO₄⁻²	NV	22 a 13	Alto	Baixo: ≤ 4,0 Médio: 5,0 – 10,0 Adequado = 10,0
	LVA	5,5 a 8,4	Médio	
K	NV	1,8 a 4,7	Médio a alto	Muito baixo: 0,0 – 0,7 Baixo: 0,8 – 1,5 Médio: 1,6 – 3,0 Alto: 3,1 – 6,0 Muito alto: > 6,0
	LVA	1,2 a 3,1	Baixo a médio	
Ca mmol_c dm⁻³	NV	26 a 51	Médio a alto	Baixo: < 20,0 Médio: 20,0 – 40,0 Alto: > 40,0
	LVA	3,1 a 17	Baixo	
Mg mmol_c dm⁻³	NV	15 a 26	Alto	Baixo: < 4,0 Médio: 4,0 – 8,0 Alto: > 8,0
	LVA	1,8 a 5,2	Baixo a médio	
Al	NV	0,5 a 0,1	Baixo	Baixo: < 5,0 Médio: 5,0 – 15,0 Alto: > 15,0
	LVA	2,5 a 0,6	Baixo	
V%	NV	72% a 82%	Eutrófico	Solo eutrófico (fértil): V% ≥ 50%
	LVA	36% a 57%	Distrófico	Solo distrófico (pouco fértil): V% ≤ 50%
B	NV	0,28 a 0,09	Médio a baixo	Baixo: < 0,20 Médio: 0,20 – 0,60 Alto: > 0,60
	LVA	0,42 a 0,08	Médio a baixo	
Cu	NV	13,2 a 16,2	Alto	Baixo: < 0,20 Médio: 0,3 – 0,8 Alto: > 0,8
	LVA	0,63 a 0,42	Médio	
Fe	NV	13,8 a 24,0	Alto	Baixo: < 4,0 Médio: 5,0 – 12,0 Alto: > 12,0
	LVA	22,45 a 30,0	Alto	
Mn	NV	176 a 276	Alto	Baixo: < 1,2 Médio: 1,3 – 5,0 Alto: > 5,0
	LVA	34 a 39,55	Alto	
Zn	NV	2,06 a 5,54	Alto	Baixo: < 0,5 Médio: 0,6 – 1,2 Alto: > 1,2
	LVA	0,34 a 2,02	Baixo a alto	

* Fonte: Nogueira (2000)

** Fonte: Valores de referência (Tomé Jr. 1997)

Dez vasos com cada um dos solos (Nitossolo Vermelho – NV e Latossolo Vermelho Amarelo – LVA), e seis vasos com substrato comercial contendo vermiculita e casca de pinus (testemunha) foram montados no Viveiro de Produção de Mudanças Florestais do Departamento de Recursos Naturais – Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, SP. Após a quebra de dormência por escarificação mecânica com lixa seca, as sementes coletadas em campo foram colocadas para germinar. A data de plantio foi 13 de julho de 2006. Em cada vaso foram plantadas três sementes e após a germinação realizou-se o desbaste, permanecendo no vaso a muda mais vigorosa. Vinte e seis plantas foram mantidas no viveiro, sendo 10 repetições para NV, 10 repetições para LVA e 6 para substrato comercial. Estas plantas cresceram no viveiro a pleno sol, e receberam a mesma quantidade de água por irrigação, sendo três irrigações diárias nos dias quentes e duas nos dias frios. O crescimento em altura e diâmetro das 26 plantas no viveiro foi acompanhado mensalmente até o momento da coleta de amostras lenhosas de caule e raiz das plantas, ou seja, de outubro de 2006 até agosto de 2008, quando as plantas estavam com dois anos de idade. O diâmetro das plantas foi obtido na região do colo com o auxílio de um paquímetro digital. A altura da parte aérea foi obtida utilizando fita métrica.

Fotografias das plantas no viveiro foram feitas em diferentes épocas a fim de mostrar as diferenças no crescimento das plantas.

Após 24 meses de desenvolvimento das plantas no viveiro foram retiradas amostras do caule principal e das raízes das plantas para os estudos anatômicos. Para tanto, cinco plantas que cresceram em NV e cinco que cresceram em LVA foram selecionadas. Estas plantas foram retiradas dos vasos e suas raízes lavadas em água corrente (Fig. 1A e B) e desbastadas para alcançar a raiz principal (Fig.1C).



Fig. 1 A-C. Lavagem e desbaste das raízes no viveiro. A. Lavagem das raízes em água corrente com auxílio de mangueira de jardim. B. Aspecto do sistema radicular após a retirada de solo ou substrato com a lavagem. C. Aspecto da raiz após o desbaste de um grande volume de raiz lateral. Barra = 10cm.

A fim de evitar a coleta de segmentos da região de transição e, no caso das raízes, bifurcações ou encurvamentos, as amostras utilizadas nas análises anatômicas macroscópicas e microscópicas foram obtidas a 15 cm da base do solo, no caule (Fig. 2A), e a 10 cm de profundidade no solo, no caso das raízes (Fig. 2B).



Fig. 2 A-B. Local de amostragem no caule (seta) e na raiz. A. Caule. B. Raiz. Barras = 10cm.

As amostras coletadas foram fixadas em FAA 70 (Johansen, 1940) e posteriormente armazenadas em potes plásticos contendo etanol 70%.

Para a análise macroscópica, a secção transversal das amostras das plantas que cresceram em NV e LVA foi polida manualmente com uma série de lixas, desde as secas (100 e 150) até as lixas d'água (220, 320, 400, 600 e 1200). Com as amostras polidas foi possível observar a presença ou ausência de marcadores de crescimento e mensurar a quantidade de tecidos formados (medula + xilema primário em caule; xilema primário em raiz; xilema secundário; casca = floema secundário + periderme). Os dados obtidos através das medições foram transferidos para uma planilha do Excel e depois transformados em valores relativos (%), para uma melhor comparação dos resultados, em proporções.

Para a análise microscópica, do material coletado das plantas que cresceram em NV e LVA, foram retirados corpos-de-prova isentos de irregularidades de aproximadamente 1,5 x 1,5 x 1,5 cm³ que foram seccionados em micrótomo de deslize para obtenção de cortes histológicos de 10 a 15 µm de espessura, nos três planos convencionais (transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial), seguindo as técnicas de Johansen (1940). Os cortes histológicos a serem corados foram clarificados com hipoclorito de sódio 50% e em seguida lavados em água acética 1%. Estes cortes foram corados com safranina aquosa 1% (Bukatsch 1972) e azul de astra 1% (Roeser 1972), visando o contraste das estruturas celulares. Após a coloração, os cortes corados e os naturais foram desidratados com uma série gradual de concentração de etanol (30% - 50% - 70% - 90% - 95% - 100%). A fixação do corante foi feita em acetato de butila e as lâminas com os cortes seccionados nos três planos foram montadas permanentemente com Entellan[®].

Para a dissociação dos elementos celulares foram retirados pequenos palitos das amostras de madeira a aproximadamente 12 cm da base do solo, no caule, e 7 cm de profundidade no solo, na raiz, que foram colocados em frascos de vidro contendo solução de ácido acético glacial e água oxigenada 30 volumes, na proporção 1:1, método de Franklin (1945, modificado (Kraus e Arduin 1997)). Cada frasco com os palitos de madeira foi vedado e levado à estufa a 60°C por cerca de 24 horas, ou até que a solução se apresentasse transparente e os palitos esbranquiçados. Após esfriar, o material foi cuidadosamente lavado em água corrente. Para a montagem de lâminas semipermanentes, o material foi corado com safranina 1% em etanol 50% (Berlyn e Miksche 1976) e as lâminas montadas em glicerina diluída em água destilada (50%).

As análises qualitativas e as quantitativas foram realizadas nos três planos usuais (transversal, tangencial e radial) e no material dissociado com utilização de microscópio de luz (ZEISS), seguindo as orientações propostas pelo IAWA Committee (1989).

Para obtenção dos dados quantitativos foi utilizado um sistema de análise de imagens, programa Axiovision, capturadas por Câmera Axio Cam MRC acoplada a um microscópio de luz Axioscop 40 marca Zeiss; esses dados foram transferidos para o programa Excel para serem efetuados os cálculos da média e desvio padrão para cada um dos parâmetros de todos os indivíduos.

A análise estatística para comparação entre as médias, utilizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis quantificadas, foi realizada utilizando o programa R[®] versão 2.8.1.

Fotografias macro e microscópicas foram obtidas dos três planos de corte, dos detalhes das células e dos conteúdos, salientando os aspectos de maior importância.

RESULTADOS

1. Tamanho das plantas em viveiro

A Figura 3 mostra as plantas jovens de *E. contortisiliquum* que cresceram em Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Nitossolo Vermelho (NV), bem como em substrato comercial (testemunha).

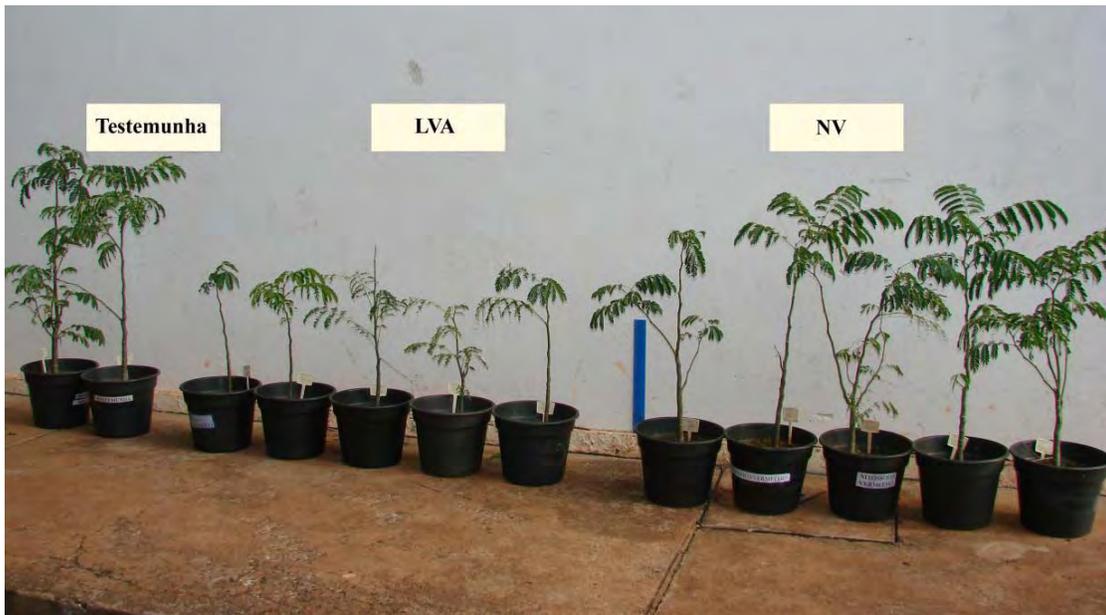


Fig. 3. Plantas jovens de *E. contortisiliquum* com aproximadamente um ano de idade em vasos contendo substrato (testemunha), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e Nitossolo Vermelho (NV). Notar a altura menor das plantas que cresceram em LVA. Barra azul = 35cm.

As plantas de *E. contortisiliquum* cultivadas em Nitossolo Vermelho apresentaram valores médios maiores de altura e diâmetro em relação às plantas cultivadas em LVA. Entretanto, a partir do 4º mês da data de plantio, esse crescimento em altura das plantas cultivadas em NV foi ultrapassado pelas plantas cultivadas em substrato comercial. Da mesma forma, o crescimento em diâmetro das plantas cultivadas em NV foi ultrapassado pelas plantas cultivadas em substrato comercial a partir do 8º mês da data de plantio (Figuras 4 e 5).

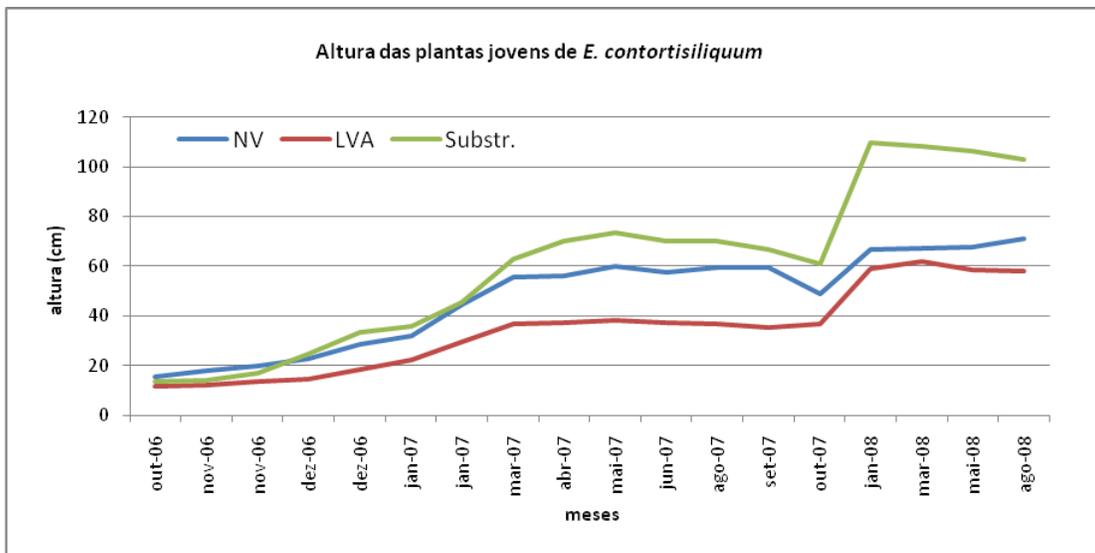


Fig. 4. Altura das plantas de *E. contortisiliquum* no período de outubro de 2006 a agosto de 2008; NV = Nitossolo Vermelho; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo; Substr. = substrato comercial.

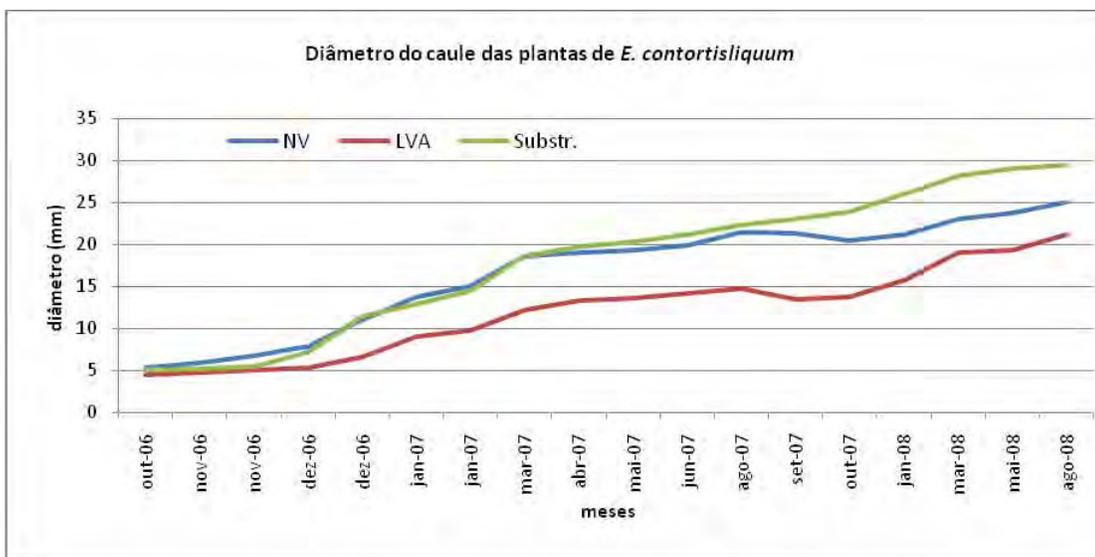


Fig. 5. Diâmetro dos caules das plantas de *E. contortisiliquum*; NV = Nitossolo Vermelho; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo; Substr. = substrato comercial.

Durante o período de crescimento das plantas no viveiro, foram observados alguns episódios de desfolha entre Fevereiro e Março de 2007, causado por ataque de coleópteros da espécie *Diabrotica speciosa* Germar (Chrysomelidae), que comumente ocorre nesta espécie, e por dias seguidos de chuva intensa em Maio de 2008. Também foi verificado quebra da gema apical em algumas plantas em Dezembro de 2006, em Março de 2007 e em Outubro de 2007, fazendo com que a altura destas plantas fosse menor que a do mês anterior.

3. Porcentagem de tecidos na secção transversal

A Figura 6 mostra os valores percentuais referentes à quantidade de tecidos formados observados na secção transversal do caule de plantas de *E. contortisiliquum* de 2 anos de idade em comparação com a das raízes destas mesmas plantas, todas cultivadas em NV.

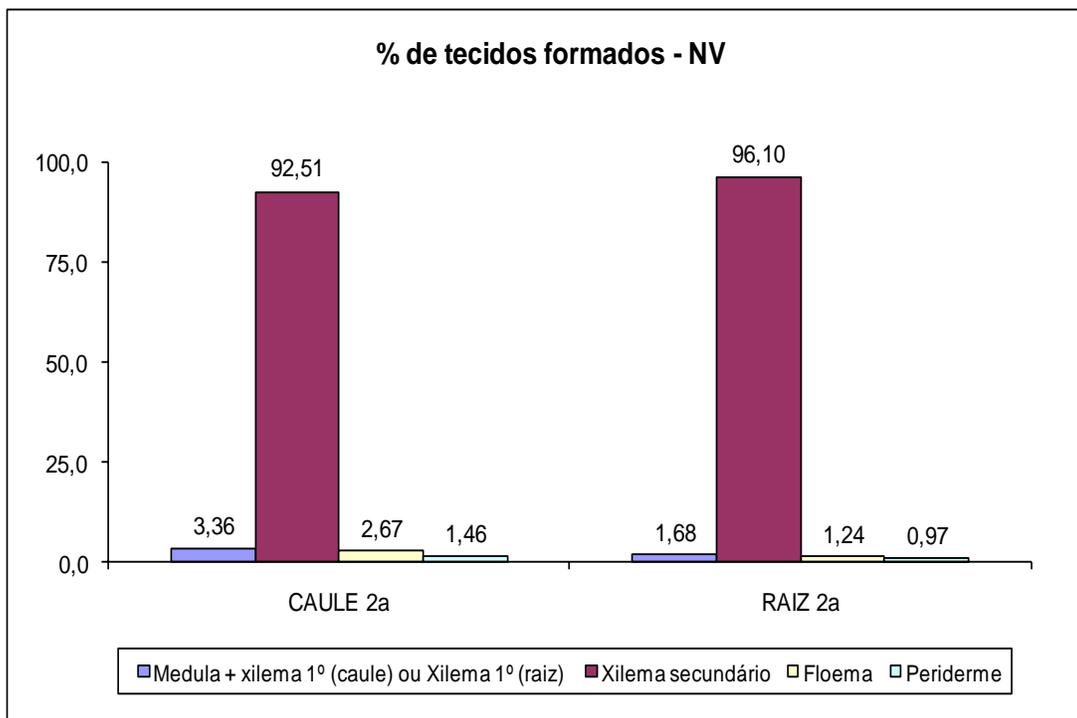


Fig. 6. Quantidade de tecidos formados em caules e raízes de plantas jovens de *E. contortisiliquum* de 2 anos de idade; NV = Nitossolo Vermelho.

A Figura 7 mostra os valores percentuais referentes à quantidade de tecidos formados no caule de plantas de *E. contortisiliquum* de 2 anos de idade em comparação com as raízes destas mesmas plantas, todas cultivadas em LVA.

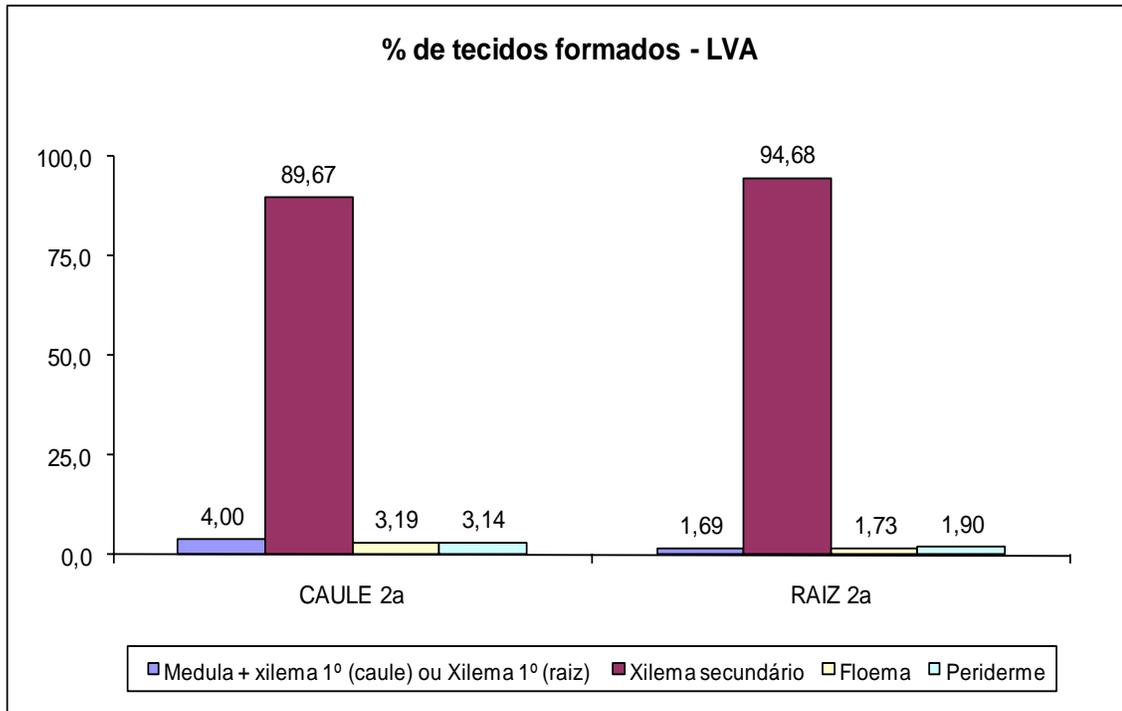


Fig. 7. Quantidade de tecidos formados em caules e raízes de plantas jovens de *E. contortisiliquum* de 2 anos de idade; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo.

Quando se compara a porcentagem de tecidos nos caules com a das raízes das plantas de tamboril observa-se uma mesma tendência nas raízes de maior porcentagem de xilema secundário e menor porcentagem de xilema primário em raiz, floema secundário e periderme, independentemente do tipo de solo.

Comparando-se a porcentagem de tecidos formados nos órgãos das plantas cultivadas em NV com as plantas cultivadas em LVA observou-se menor porcentagem de xilema secundário (ambos órgãos) e maior porcentagem de floema secundário e periderme (ambos os órgãos) e medula (caules) nas plantas que cresceram em LVA.

4. Características anatômicas microscópicas qualitativas do lenho de *E. contortisiliquum*

As características anatômicas qualitativas do lenho *E. contortisiliquum*, considerando os dois tipos de solos (NV e LVA), apresentaram-se similares entre todos os indivíduos analisados, entretanto houve diferenças quando se comparou o lenho de caule com o de raiz. As Figuras 8 A-F apresentam as características anatômicas do lenho de caule e raiz das plantas que cresceram em NV. As Figuras 9 A-F apresentam as características anatômicas do

lenho de caule e raiz das plantas que cresceram em LVA. As figuras 10 A-O apresentam outras características relevantes do lenho do caule e da raiz, sem discriminar o tipo de solo.

Abaixo segue a caracterização anatômica microscópica do lenho do caule e da raiz das plantas jovens de *E. contortisiliquum*.

Camadas de crescimento: demarcadas por espessamento na parede das fibras e achatamento radial das fibras (Figs. 8A-B, F; 9A-B, F; 10B).

Vasos: porosidade difusa (Figs. 8A-B, 9A-B), 50% e 56% de solitários em caules e raízes, respectivamente, e 50% e 44% de múltiplos em caules e raízes, respectivamente (Figs. 8A-B, 9A-B; tabela 2), e agrupamentos racemiformes (Fig 10F; tabela 2). Presença de elementos de vaso sem apêndice (Fig. 10C) e com apêndices em uma (Fig. 10D) ou ambas as extremidades (Fig. 10E). Placas de perfuração simples (Figs. 10D, F, G). Pontoações intervasculares alternas (Figs. 10G-H) e guarnecidas (Fig. 10G) com contorno tendendo a poligonal (Figs. 10G); pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares (Fig. 10H).

Parênquima axial: predominantemente vasicêntrico (Figs. 8B) eventualmente aliforme losangular (Figs. 8B), com confluências (Fig. 8B); constituído de 2 a 4 células por série (Fig. 8D, 9D). O lenho de raiz apresenta maior quantidade de parênquima axial (Figs. 8B, 9B).

Parênquima radial: homogêneo, constituído exclusivamente de células procumbentes (Figs. 8E-F, e 9E-F), predominantemente unisseriados (Figs. 8C-D, e 9C-D).

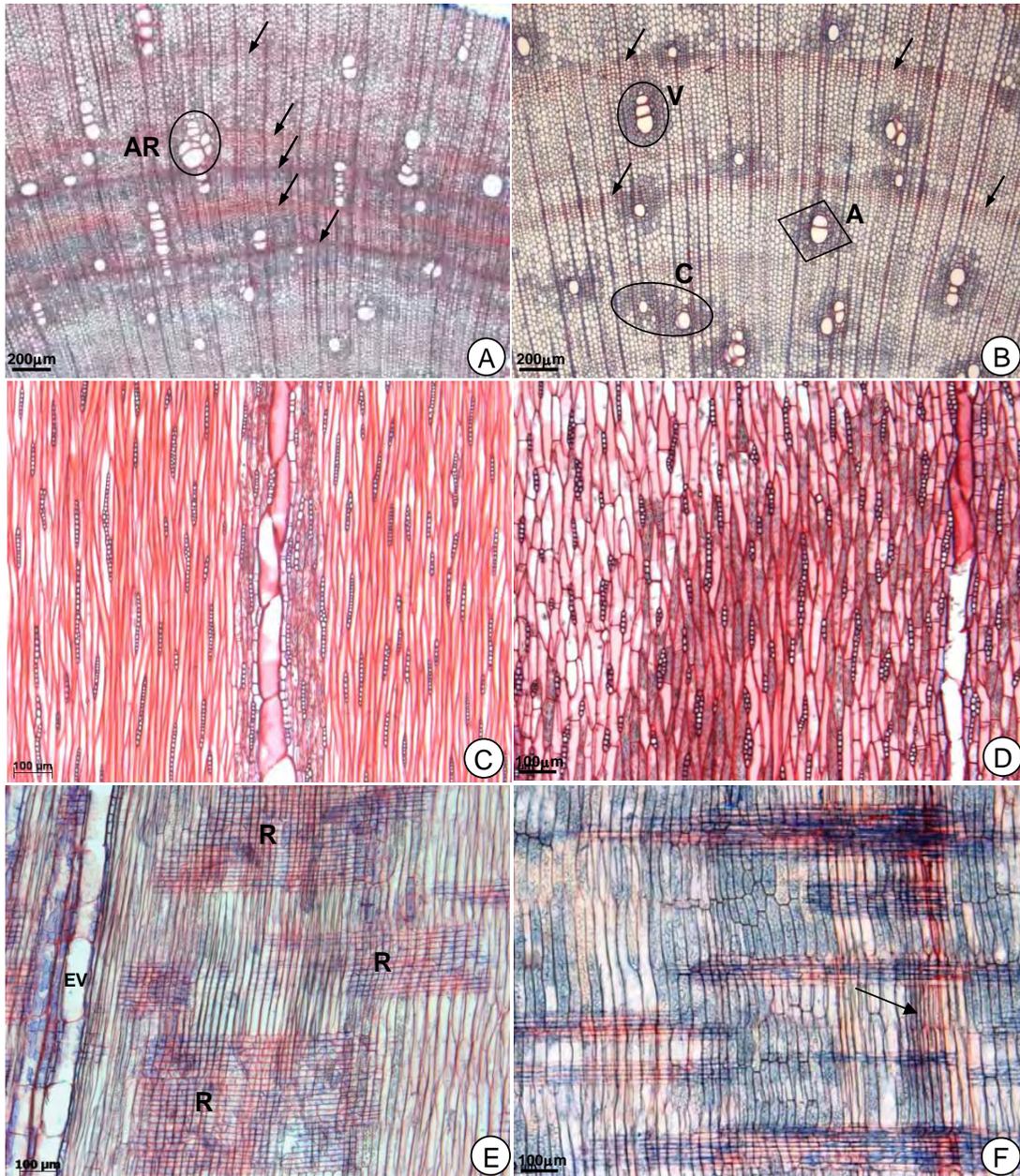
Fibras: com paredes predominantemente finas (Figs. 8A-B, 9A-B), pontoações diminutas a aparentemente simples (Fig. 10M). Presença de fibras semelhantes ao parênquima no lenho de caule e raiz, sendo observadas em maior quantidade no lenho de raiz (Figs. 9B, 10K). Presença de fibras gelatinosas (Fig. 10L) e com extremidades com formatos variados (Fig. 10N).

Inclusões orgânicas: grãos de amido em células do parênquima axial (Fig. 10O).

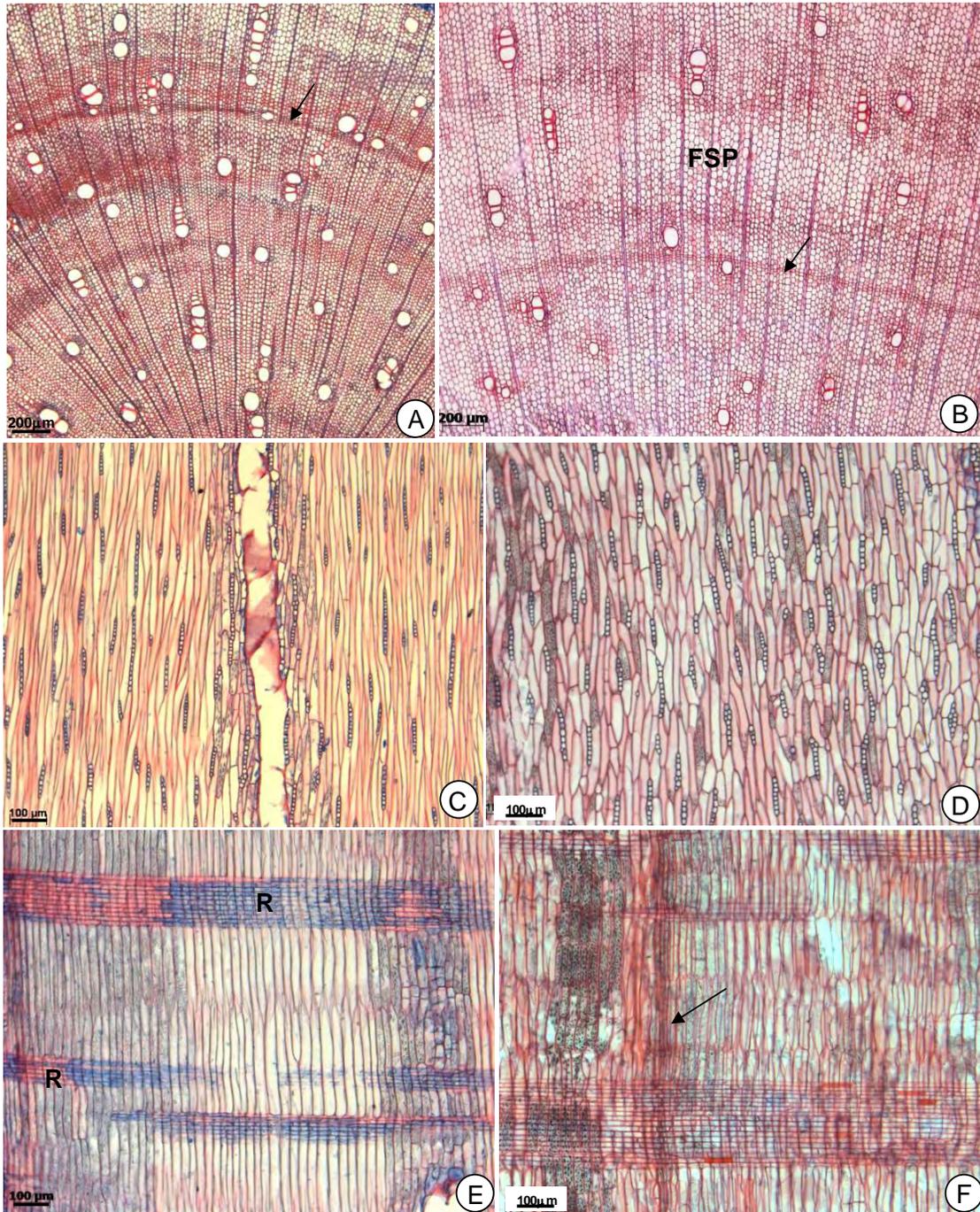
Inclusões inorgânicas: cristais prismáticos formando séries cristalíferas em células do parênquima axial e em fibras (Fig.10M) com até 14 cristais por série no lenho do caule, somente.

5. Características anatômicas quantitativas do lenho de *E. contortisiliquum*

As características anatômicas quantitativas estão descritas na Tabela 2 e na Tabela 3 e a análise estatística que compara as médias dos espécimes nos dois solos estão apresentadas na Tabela 4 e na Tabela 5.



Figuras 8 A-F: Lenho de plantas de *E. contortisiliquum* desenvolvidas em Nitossolo Vermelho. Figuras 8 A, C e E: Lenho de caule. A: Secção transversal do lenho mostrando marcadores das camadas de crescimento (setas) e porosidade difusa. Observar camadas de crescimento demarcada por espessamento na parede das fibras (setas). Círculo = agrupamento racemiforme. C e E = Secções longitudinais. C: Secção longitudinal tangencial mostrando série parenquimática e raios unisseriados. E: Secção longitudinal radial mostrando corpo do raio composto de células procumbentes (R); EV = elementos de vaso. Figuras 8 B, D e F: Lenho de raiz. B: Secção transversal do lenho mostrando marcadores das camadas de crescimento (setas), porosidade difusa e parênquima axial. A = aliforme; V = vasicêntrico; C = confluyente D e F = Secções longitudinais. D: Secção longitudinal tangencial mostrando parênquima axial abundante e raios unisseriados. F: Secção longitudinal radial mostrando raios compostos de células procumbentes e conteúdos celulares. A seta aponta para fibras de parede mais espessa e achatadas radialmente, marcando a camada de crescimento em secção longitudinal radial.



Figuras 9 A-F: Lenho de plantas de *E. contortisiliquum* desenvolvidas em Latossolo Vermelho Amarelo
 Figuras 9A, C e E: Lenho de caule. A: Secção transversal do lenho mostrando marcador das camadas de crescimento e porosidade difusa. Observar camadas de crescimento demarcada por espessamento na parede das fibras (setas). C e E = Secções longitudinais. C: Secção longitudinal tangencial mostrando série parenquimática e raios unisseriados. E: Secção longitudinal radial mostrando corpo do raio composto de células procumbentes (R). Figuras 9 B, D e F: Lenho de raiz. B: Secção transversal do lenho mostrando camada de crescimento demarcada por espessamento na parede das fibras (seta), porosidade difusa e fibras semelhantes ao parênquima axial (FSP). D e F = Secções longitudinais. D: Secção longitudinal tangencial mostrando parênquima axial abundante e raios unisseriados. F: Secção longitudinal radial mostrando raios compostos de células procumbentes e conteúdos celulares. A seta aponta para fibras de parede mais espessa e achatas radialmente, marcando a camada de crescimento em secção longitudinal radial.

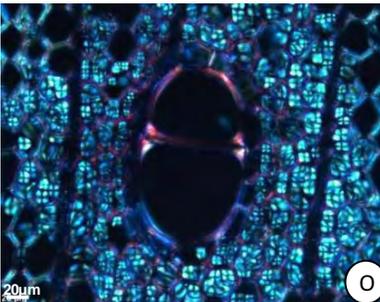
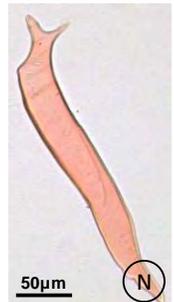
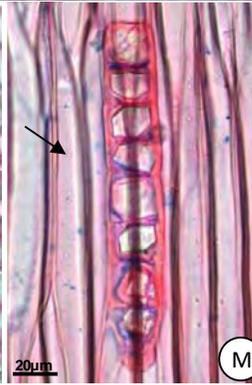
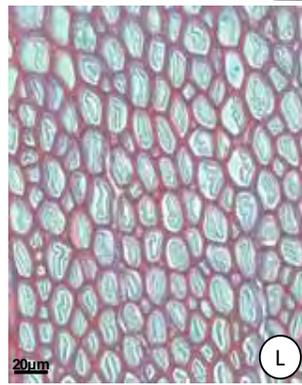
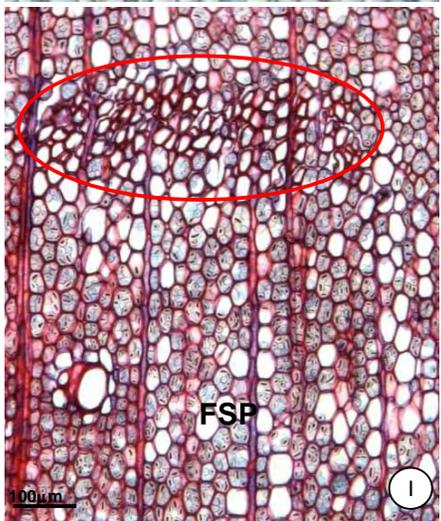
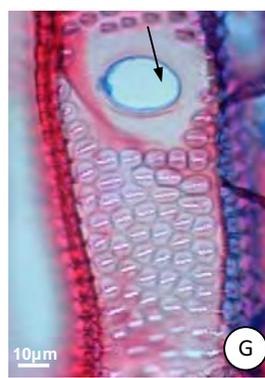
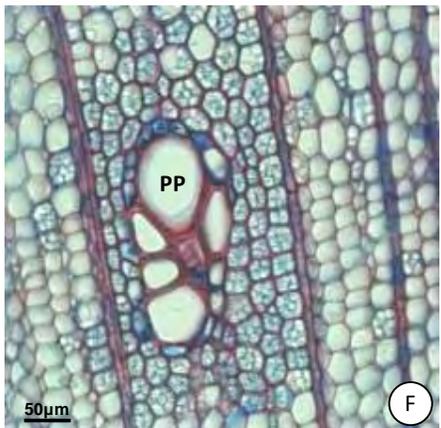
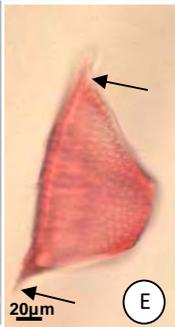
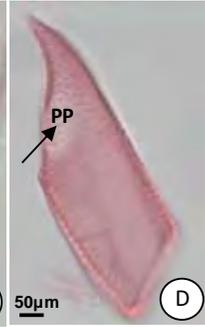
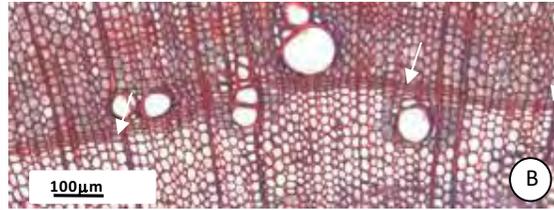
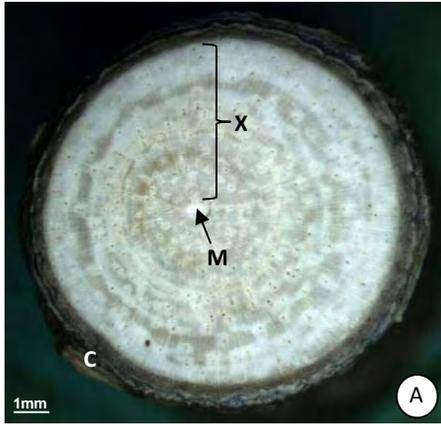


Figura 10 A-O: Lenho de caule e raiz de *E. contortisiliquum* em NV e LVA. A: Secção transversal do caule em macroscopia; M = medula; X = xilema secundário; C = casca (floema + periderme). B: Camadas de crescimento (setas) demarcadas por espessamento na parede das fibras. C, D e E: Elemento de vaso sem apêndice (C), com apêndice (seta) em uma das extremidades (D) e com apêndice (setas) em ambas as extremidades (E); PP = Placa de perfuração simples (seta). F: Secção transversal mostrando agrupamento racemiforme de vasos; PP = placa de perfuração simples. G e H: Secções longitudinais tangencial e radial, respectivamente. G: Pontoações intervasculares alternas, com contorno tendendo a poligonal; seta = placa de perfuração simples. H: Pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares. I: Secção transversal mostrando fibras comuns (contornadas) e fibras semelhantes ao parênquima axial (FSP). J: Fibra comum dissociada. K: Fibra semelhante ao parênquima axial. L: Secção transversal mostrando fibras gelatinosas. M : Secção longitudinal radial mostrando cristais em células do parênquima axial no lenho de caule; seta = pontoação diminuta na parede da fibra. N: Fibra dissociada com extremidade com formato variado. O: Secção transversal mostrando grãos de amido em células do parênquima paratraqueal sob luz polarizada.

Tabela 2 – Características anatómicas quantitativas (média ± desvio padrão) do lenho do caule de plantas jovens de *E. contortisiliquum*. NV = Nitossolo Vermelho. LVA = Latossolo Vermelho Amarelo. R = número de repetições (1 a 5). Esp. = espessura. Intervasc.= intervaseculares. Raio-vasc. = raio-vasculares. Valores entre parênteses indicam a unidade utilizada.

Solo	Vasos			Fibras			Raio-vasc.			Raio-vasc.		
	Comprimento (µm)	Diâmetro (µm)	Frequência (nº/mm²)	Comprimento (µm)	Diâmetro (µm)	Frequência (nº/mm)	Esp. parede (µm)	Altura (µm)	Frequência (nº/mm)	Intervasc. (µm)	Diâmetro das pontuações Intervasc. (µm)	Raio-vasc. (µm)
NV	R1	225,03 ± 57,77	56,73 ± 14,84	18,10 ± 6,44	444,46 ± 76,08	21,73 ± 4,71	3,22 ± 0,75	109,24 ± 50,23	6,5 ± 1,35	6,72 ± 0,75	6,40 ± 0,85	
	R2	240,10 ± 49,44	68,88 ± 14,69	12,6 ± 4,01	437,55 ± 81,91	21,94 ± 3,86	2,62 ± 0,57	111,66 ± 44,68	6,6 ± 1,43	6,80 ± 0,72	4,97 ± 0,42	
	R3	230,05 ± 62,34	49,16 ± 13,26	8,43 ± 3,07	444,22 ± 83,99	24,31 ± 5,60	3,16 ± 0,80	107,51 ± 53,29	6,3 ± 1,83	6,61 ± 0,67	5,80 ± 0,58	
	R4	254,71 ± 43,65	54,03 ± 11,22	16,68 ± 8,05	431,30 ± 90,86	21,94 ± 2,74	2,71 ± 0,66	112,72 ± 48,73	7,6 ± 1,26	5,57 ± 0,48	5,79 ± 0,84	
	R5	206,16 ± 38,08	55,27 ± 14,10	15,42 ± 6,64	444,07 ± 92,41	20,11 ± 4,08	2,83 ± 0,56	121,43 ± 54,15	7,6 ± 1,35	6,84 ± 0,58	5,83 ± 0,84	
LVA	R1	170,38 ± 37,05	69,40 ± 13,05	8,33 ± 5,44	362,63 ± 86,44	17,73 ± 3,09	2,53 ± 0,61	133,47 ± 72,09	6,1 ± 1,10	6,28 ± 0,63	4,55 ± 0,45	
	R2	261,61 ± 56,89	54,21 ± 15,08	19,63 ± 7,31	478,16 ± 116,03	22,31 ± 2,73	2,98 ± 0,71	154,21 ± 123,22	7,4 ± 1,35	6,35 ± 0,69	4,20 ± 0,45	
	R3	213,99 ± 48,25	62,32 ± 14,20	13,67 ± 4,99	403,47 ± 75,32	19,66 ± 2,73	2,86 ± 0,66	118,37 ± 62,15	6,6 ± 1,35	6,55 ± 0,46	6,15 ± 0,97	
	R4	249,20 ± 43,30	59,38 ± 16,01	11,7 ± 8,88	374,93 ± 70,66	21,7 ± 2,91	2,90 ± 0,59	107,30 ± 55,18	6,7 ± 1,34	6,70 ± 0,59	6,35 ± 0,59	
	R5	253,24 ± 46,02	45,91 ± 11,81	26,47 ± 9,73	416,57 ± 85,92	19,68 ± 4,48	2,61 ± 0,59	109,25 ± 47,79	6,1 ± 0,99	5,12 ± 0,72	5,50 ± 0,57	

Tabela 3 – Características quantitativas (média ± desvio padrão) do lenho da raiz de plantas jovens de *E. contortisiliquum*. NV = Nitossolo Vermelho. LVA = Latossolo Vermelho Amarelo. R = número de repetições (1 a 5). Esp. = espessura. Intervasc.= intervaseculares. Raio-vasc. = raio-vasculares. Valores entre parênteses indicam a unidade utilizada.

Solo	Vasos			Fibras			Raio-vasc.			Raio-vasc.		
	Comprimento (µm)	Diâmetro (µm)	Frequência (nº/mm²)	Comprimento (µm)	Diâmetro (µm)	Frequência (nº/mm)	Esp. parede (µm)	Altura (µm)	Frequência (nº/mm)	Intervasc. (µm)	Diâmetro das pontuações Intervasc. (µm)	Raio-vasc. (µm)
NV	R1	221,15 ± 41,81	58,26 ± 10,50	5,5 ± 3,54	392,23 ± 86,87	31,34 ± 3,66	2,77 ± 0,84	100,31 ± 43,34	6,0 ± 1,63	7,61 ± 0,83	7,98 ± 0,64	
	R2	300,84 ± 75,66	60,86 ± 13,42	4,3 ± 2,67	546,55 ± 140,18	34,60 ± 6,81	3,21 ± 0,87	111,16 ± 42,72	5,3 ± 0,48	7,05 ± 0,72	6,67 ± 0,53	
	R3	244,74 ± 44,28	48,96 ± 10,38	6,9 ± 4,05	406,77 ± 96,55	34,51 ± 5,86	3,76 ± 1,01	109,21 ± 42,90	6,0 ± 1,05	5,76 ± 0,84	6,24 ± 1,12	
	R4	238,04 ± 51,83	56,46 ± 13,54	6,1 ± 4,37	459,13 ± 117,54	34,86 ± 8,42	2,33 ± 0,59	122,02 ± 42,41	4,8 ± 1,14	7,11 ± 0,68	5,89 ± 0,43	
	R5	230,08 ± 60,35	63,54 ± 18,55	6,8 ± 2,29	543,61 ± 139,91	34,41 ± 6,53	3,11 ± 1,01	104,54 ± 45,65	4,8 ± 0,92	6,57 ± 0,47	5,85 ± 0,81	
LVA	R1	223,45 ± 69,17	46,01 ± 9,83	5,3 ± 2,78	427,10 ± 76,32	29,00 ± 4,80	3,25 ± 0,93	74,77 ± 30,62	6,9 ± 1,66	5,78 ± 0,54	6,45 ± 0,82	
	R2	206,29 ± 47,92	55,54 ± 11,67	8,0 ± 4,00	491,87 ± 137,94	30,76 ± 3,97	2,87 ± 0,93	110,27 ± 48,68	4,9 ± 1,10	6,17 ± 0,45	7,78 ± 0,77	
	R3	224,70 ± 47,92	51,97 ± 8,80	4,9 ± 2,39	544,10 ± 105,96	28,82 ± 3,20	2,78 ± 0,82	99,40 ± 29,22	4,8 ± 1,03	6,53 ± 0,73	6,20 ± 0,51	
	R4	216,67 ± 51,30	57,55 ± 13,84	4,4 ± 3,77	409,20 ± 91,60	32,90 ± 5,64	2,64 ± 0,71	106,36 ± 47,11	4,3 ± 0,95	5,48 ± 0,31	7,18 ± 0,51	
	R5	224,53 ± 42,90	53,21 ± 14,16	8,7 ± 5,22	389,18 ± 83,01	27,57 ± 4,47	2,62 ± 0,62	122,18 ± 48,16	6,2 ± 1,03	5,80 ± 0,71	7,10 ± 0,71	

Tabela 4 – Análise estatística para o lenho do caule de plantas jovens de *E. contortisiliquum* que cresceram em NV e LVA (p<0,05).

<i>Características anatômicas do lenho</i>		Área	Média	Tukey 5%	P>F
Vasos	Comprimento	NV	229,38	n.s.	0,9368
		LVA	229,83		
	Diâmetro	NV	57,00	n.s.	0,4420
LVA		58,24			
Frequência	NV	14,25	*	0,0209	
	LVA	15,96			
Fibras	Comprimento	NV	439,92	**	0,0012
		LVA	407,15		
	Diâmetro	NV	22,01	***	0,0003
		LVA	23,76		
	Espessura da parede	NV	2,91	n.s.	0,0820
LVA		2,78			
Raios	Altura	NV	112,51	n.s.	0,1107
		LVA	124,52		
	Frequência	NV	6,92	n.s.	0,2118
		LVA	6,58		
Pontoações	Intervasculares	NV	6,51	*	0,0167
		LVA	6,20		
	Raiovasculares	NV	5,76	**	0,0030
		LVA	5,34		

n.s. = não significativo; * = maior número de asteriscos indica maior significância.

Tabela 5 – Análise estatística para o lenho da raiz de plantas jovens de *E. contortisiliquum* que cresceram em NV e LVA (p<0,05).

<i>Características anatômicas do lenho</i>		Área	Média	Tukey 5%	P>F
Vasos	Comprimento	NV	246,97	***	0,0000
		LVA	219,13		
	Diâmetro	NV	57,61	**	0,0015
		LVA	52,86		
Frequência	NV	5,92	n.s.	0,4172	
	LVA	6,26			
Fibras	Comprimento	NV	469,68	n.s.	0,1722
		LVA	452,28		
	Diâmetro	NV	33,95	***	0,0000
		LVA	29,88		
	Espessura da parede	NV	3,04	*	0,0472
LVA		2,85			
Raios	Altura	NV	109,45	n.s.	0,1970
		LVA	103,08		
	Frequência	NV	5,38	n.s.	0,8620
		LVA	5,42		
Pontoações	Intervasculares	NV	6,82	n.s.	0,3973
		LVA	6,94		
	Raiovasculares	NV	6,53	***	0,0000
		LVA	5,95		

n.s. = não significativo; * = maior número de asteriscos indica maior significância.

Na Tabela 6 estão representados os resultados da análise estatística para a comparação das médias entre os dois órgãos, sem discriminação dos tipos de solo.

Tabela 6 – Análise estatística comparando o lenho do caule e da raiz de plantas jovens de *E. contortisiliquum* ($p < 0,05$) sem discriminação de tipos de solos.

<i>Características anatômicas do lenho</i>		Órgão	Média	Tukey 5%	P>F
Vasos	Comprimento	Caule	229,60	n.s.	0,4560
		Raiz	233,05		
	Diâmetro	Caule	57,62	n.s.	0,1414
		Raiz	55,24		
	Frequência	Caule	15,10	***	0,0000
		Raiz	6,09		
Fibras	Comprimento	Caule	423,54	***	0,0000
		Raiz	460,98		
	Diâmetro	Caule	22,88	***	0,0000
		Raiz	31,91		
	Espessura da parede	Caule	3,44	***	0,0000
		Raiz	2,94		
Raios	Altura	Caule	118,52	**	0,0073
		Raiz	106,26		
	Frequência	Caule	6,75	***	0,0000
		Raiz	5,4		
Pontoações	Intervasculares	Caule	6,35	***	0,0000
		Raiz	6,74		
	Raiovasculares	Caule	5,55	***	0,0000
		Raiz	6,24		

n.s. = não significativo; * = maior número de asteriscos indica maior significância.

Os resultados da Tabela 2 e 3 mostram elementos de vaso curtos ($\leq 350\mu\text{m}$) e de diâmetro pequeno (50 a $100\mu\text{m}$) na maioria dos espécimes analisados, baixa frequência de vasos (5 a 20 vasos/ mm^2) na maioria dos espécimes analisados, além de fibras curtas ($\leq 900\mu\text{m}$).

De acordo com a Tabela 4, houve menor frequência de vasos, fibras mais compridas e mais estreitas e pontoações (intervasculares e raiovasculares) de diâmetro maior no lenho do caule das plantas cultivadas em NV, em comparação com as cultivadas em LVA.

De acordo com a Tabela 5, os vasos foram mais compridos e mais largos, as fibras mais largas e de parede mais espessa e as pontoações raiovasculares de maior diâmetro no lenho da raiz das plantas cultivadas em NV, em comparação com as cultivadas em LVA.

Os resultados da Tabela 6 mostram que houve diferença significativa entre caule e raiz para a maioria das características anatômicas do lenho analisadas. No lenho do caule, a frequência de vasos foi maior, o comprimento e o diâmetro de fibras foram menores, porém a

espessura da parede foi maior, os raios foram mais altos e numerosos, e as pontoações (intervasculares e raiovasculares) de diâmetro menor.

DISCUSSÃO

O crescimento em altura e diâmetro das plantas de *E. contortisiliquum* foi diferente quando se comparou os três tipos de substrato (NV, LVA e substrato comercial). O crescimento foi maior tanto em altura quanto em diâmetro nas plantas cultivadas em substrato comercial, seguido pelas plantas que cultivadas em NV. Segundo Silva (comunicação pessoal)², o crescimento maior das plantas em substrato comercial pode ter sido pelo fato deste substrato ter uma adubação de base rica principalmente em fósforo. O melhor desenvolvimento das plantas em NV em comparação com o das plantas em LVA pode ser atribuído à composição de NV, que apresenta altos teores de matéria orgânica, é mais rico em nutrientes, ou seja, é um solo eutrófico (fértil), e tem o pH mais favorável em comparação com o LVA (Tabela 1, compilada de Nogueira 2000). A ligeira queda no valor médio da altura das plantas em alguns períodos possivelmente tenha sido devido à quebra da gema apical em algumas repetições. Ao final da avaliação, as plantas de NV e LVA apresentaram alturas médias próximas. Com relação ao diâmetro, as plantas que cresceram em substrato comercial e em NV apresentaram valores médios muito próximos até Agosto de 2007, mas a partir desta data as plantas do substrato comercial alcançaram valores médios que superaram os das plantas de NV. Venturin *et al.* (1996) relatam que o nitrogênio, o fósforo, o cálcio e o enxofre mostraram-se limitantes ao crescimento em altura e diâmetro de plântulas de *Copaifera langsdorffii* em Latossolo Vermelho Amarelo com pequena disponibilidade desses nutrientes. Possivelmente os menores teores de nutrientes em LVA (Tabela 1, compilada de Nogueira 2000) deste estudo contribuíram com o crescimento menor em altura e em diâmetro das plantas jovens de *E. contortisiliquum* que cresceram nesse solo.

Foram observados episódios de desfolha, o que, segundo Lorenzi (1998), é característica inerente à espécie.

Em ambos os solos houve variação quanto à porcentagem de tecidos formados observados em secção transversal, quando se comparou caule e raiz. Na raiz, a maior porcentagem de xilema secundário formado deve-se a um maior número de células do xilema depositadas por divisões periclinais das iniciais do câmbio. Assim, pode-se sugerir que essa

² Dra. Magali Ribeiro da Silva, responsável pelo Viveiro de Produção de Mudanças Florestais do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, UNESP.

maior quantidade de xilema “comprima”, ao longo do tempo, as células do xilema primário na raiz, o que justifica a menor porcentagem desse tecido observada em secção transversal. Uma explicação para o fato de a raiz formar mais xilema que o caule é que a planta jovem de *E. contortisiliquum* estaria “investindo” mais na formação de tecido responsável pela condução de água na raiz. A água desempenha um papel fundamental na vida da planta, porque ela constitui a matriz e o meio onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida (Taiz e Zeiger 2004), assim, o transporte de maior quantidade de água da raiz às demais partes das plantas asseguraria a eficiência dos processos bioquímicos e também a reposição de água perdida pela transpiração. O caule, por sua vez, não formou uma quantidade maior de tecido de sustentação (xilema) possivelmente porque as plantas de *E. contortisiliquum* ainda eram jovens e não apresentavam uma copa tão desenvolvida.

Em ambos os solos, a porcentagem de floema secundário foi maior no caule que na raiz das plantas. Essa maior porcentagem permite uma acomodação de maior volume e condução de fotoassimilados no caule. Os fotoassimilados incluem água e solutos translocados que são principalmente carboidratos, aminoácidos, proteínas e hormônios vegetais, bem como íons inorgânicos (Taiz e Zeiger 2004) fundamentais para o bom desenvolvimento das plantas.

No caule das plantas cultivadas em ambos os solos houve maior produção de periderme, o que segue as expectativas normais, já que a maior largura da periderme fornece proteção ao caule. Isto já foi comentado por Machado *et al.* (2005) para espécies de *Styrax* sp. (Styracaceae).

Comparando as plantas cultivadas em NV com as plantas cultivadas em LVA, estas últimas produziram mais floema secundário e periderme em ambos os órgãos, enquanto que as primeiras produziram mais xilema secundário, tanto em caule como em raiz. Estes resultados sugerem que as plantas que cresceram em solo menos fértil estariam formando mais tecido para a condução de fotoassimilados e proteção externa do caule, enquanto que as plantas que cresceram em solo mais fértil estariam formando mais tecido para condução hídrica e/ou sustentação. Penfound (1931) encontrou maior porcentagem de xilema e área vascular maior no lenho de caule e raiz das plantas que cresceram em solo mais úmido, mas não há evidências na literatura que justifiquem tal resultado.

A estrutura anatômica microscópica do lenho do caule e da raiz das plantas de *Enterolobium contortisiliquum* concorda, em termos gerais, com o que já foi relatado para o lenho de caule desta espécie na literatura (Détienne e Jacquet 1983; Mainieri *et al.* 1983; Mainieri e Chimelo 1989; Richter e Dallwitz 2000; Alves e Angyalossy-Alfonso 2000, 2002;

Insidewood 2004 e Lima *et al.* 2009, Evans *et al.* 2006 e Santos 2007); entretanto, não foram encontrados dados referentes à anatomia do lenho da raiz.

Não houve diferença nas características anatômicas qualitativas quando se comparou o lenho das plantas que cresceram nos diferentes solos. Quanto às características anatômicas quantitativas, porém, houve diferenças significativas quando se comparou as plantas cultivadas em NV com aquelas cultivadas em LVA, tanto para o lenho de caule como para o lenho de raiz. Isto significa que cada órgão respondeu de maneira diferente às características físico-químicas dos diferentes solos.

O caule apresentou maior frequência de vasos em LVA, cuja capacidade de retenção de água é menor por ser um solo arenoso. Nesta condição, frequência maior de vasos pode contribuir com a segurança na condução hídrica (ver Calrquist 1977), porque caso ocorra embolismo em um vaso, outros vasos adjacentes podem assumir a função do vaso embolizado (Alves 1995).

Fibras mais compridas foram observadas no lenho de caule das plantas de NV. Também Santos (2007) observaram fibras mais compridas no lenho de plantas no lenho de plantas adultas de *E. contortisiliquum* que cresceram neste mesmo solo. As dimensões das células vegetais, dentre elas as fibras, dependem de características genéticas e de fatores ecológicos. Em condições de maior disponibilidade hídrica, por exemplo, as iniciais fusiformes ficam mais túrgidas e sofrem distensão celular (Levitt 1980) gerando células maiores. A textura argilosa e conseqüentemente a maior capacidade de retenção de água, além dos teores maiores de matéria orgânica e de nutrientes como fósforo, potássio cálcio e magnésio de NV podem ter contribuído com os valores maiores do comprimento das fibras no lenho das plantas de *E. contortisiliquum* que cresceram neste solo.

Diâmetro maior de pontoações intervasculares e raiovasculares foi observado no lenho de caule das plantas cultivadas em NV. Santos (2007) também encontrou valores maiores para estas características no lenho de plantas adultas de *E. contortisiliquum* cultivadas neste mesmo solo comparando com as plantas cultivadas em LVA. Tais resultados sugerem tendência ecológica para estas características do lenho de caule de *E. contortisiliquum*. Não foram encontrados registros na literatura que justifiquem estes resultados, possivelmente porque estas características são consideradas conservativas (ver IAWA Committee 1989).

No lenho de raiz, elementos de vaso mais compridos e mais largos foram observados nas plantas que cresceram em NV, cuja textura argilosa (maior capacidade de retenção de água) permite maior disponibilidade de água às plantas. Vasos mais largos podem contribuir com a eficiência da condução hídrica nessas plantas que cresceram nesse solo. A maior

eficiência da condução hídrica através de vasos mais largos pode ser explicada pela Lei de Poiseuille, segundo a qual a condutividade hidráulica é proporcional a 4ª potência do raio do capilar (Tyree e Ewers 1991; McElrone *et al.* 2004).

Observou-se largura maior de fibras no lenho de raiz das plantas de NV, no qual a capacidade de retenção de água é maior. Segundo Levitt (1980), em ambiente com maior disponibilidade hídrica, as células do lenho ficam túrgidas e sofrem distensão, tornando-se maiores, o que pode explicar as maiores larguras das fibras em plantas que cresceram em NV neste trabalho. Entretanto, o lenho de raiz das plantas que cresceram nesse mesmo solo apresenta as fibras com paredes mais espessas, o que diverge de Levitt (1980), já que células túrgidas e que sofrem distensão normalmente apresentam paredes mais finas. Diverge também de Luchi *et al.* (2005), que encontrou fibras com parede mais espessa no lenho de raiz de *Xylopia aromática* no solo de Cerrado, que passou por um período de déficit hídrico maior que o da área de plantio de *Pinus sylvestris* onde *X. aromática* também ocorria.

Comparando o lenho do caule com o lenho da raiz das plantas jovens de *E. contortisiliquum*, independentemente do tipo de solo houve diferença quanto à presença de cristais prismáticos, observados nas células do parênquima axial do lenho de caule somente, além de maior frequência de vasos, fibras com parede mais espessa, maior altura e frequência de vasos no lenho de caule; no lenho de raiz, maior quantidade de fibras semelhantes ao parênquima axial, maior comprimento e diâmetro de fibras, diâmetro maior de pontoações intervasculares e raiovasculares.

Camadas de crescimento foram observadas no lenho do caule e raiz das plantas de *E. contortisiliquum* deste estudo. A ocorrência de camadas de crescimento no lenho do caule desta espécie também foi relatada por outros autores (Mainieri e Chimelo 1983; Boninsegna *et al.* 1989; Evans *et al.* 2006; Santos 2007; Lima *et al.* 2009). Contrariamente, Mainieri e Chimelo (1989), Richter e Dallwitz (2000) e InsideWood (2004) descrevem camadas de crescimento indistintas ou ausentes no lenho do caule desta espécie. Não foram encontrados dados referentes a camadas de crescimento do lenho da raiz desta espécie, embora esta característica tenha sido observada no lenho de raiz de outras espécies brasileiras (Dias-Leme 1994, Machado *et al.* 1997, 2007; Esemann-Quadros 2001; Palhares *et al.* 2007). A ocorrência de camadas de crescimento no lenho da raiz de *E. contortisiliquum* difere do que sugere Lebedenko (1962), isto é, que raízes são menos prováveis de formar anéis de crescimento por causa da uniformidade das condições ambientais (temperatura, nutrientes) do solo. As plantas de *E. contortisiliquum* deste estudo cresceram em condições controladas, ou seja, receberam a mesma quantidade de água por irrigação durante todo o período de

crescimento no viveiro; e apesar dos solos NV e LVA, segundo e Gonçalves e Stape (2002), serem diferentes quanto à retenção de água (os Nitossolos possuem alta capacidade de retenção de água e Latossolos possuem baixa capacidade de retenção de água disponível), esta condição parece não ter interferido na formação das camadas de crescimento, pois o lenho das plantas que cresceram em ambos os solos apresentaram esta característica de forma similar. O tipo de marcador observado, ou seja, achatamento radial e redução na dimensão das fibras está de acordo com Santos (2007) e parcialmente de acordo com Mainieri e Chimelo (1983), Boninsegna *et al.* (1989) e Lima *et al.* (2009), que indicam, além destas características, também a presença de faixas de parênquima marginal, o que não foi observado nas amostras deste estudo.

O lenho do caule e da raiz de plantas de *E. contortisiliquum* apresentou porosidade difusa e, segundo Metcalfe e Chalk (1950, 1983), esta é situação comum entre as dicotiledôneas. Segundo Evans *et al.* (2006), praticamente todas as plantas lenhosas da subfamília Mimosoideae têm porosidade difusa, o que corresponde a sua distribuição geográfica principalmente tropical. Os autores também afirmam que a porosidade difusa é a mais comum em dicotiledôneas, concordando com a observação de Metcalfe e Chalk (1950, 1983) e de Wheeler e Bass (1991). Além da predominância em dicotiledôneas e em espécies da subfamília Mimosoideae, porosidade difusa é característica do lenho da maioria das espécies decíduas (Chowdhury 1964 *apud* Wheeler e Bass 1991), sendo este o caso de *E. contortisiliquum*.

Agrupamentos racemiformes foram observados no lenho do caule e da raiz das plantas estudadas. Metcalfe e Chalk (1950) relataram a presença deste tipo de agrupamento em algumas espécies de *Enterolobium* e Richter e Dallwitz (2000), Evans *et al.* (2006) e Santos (2007) na espécie *E. contortisiliquum*.

A frequência de vasos foi maior no lenho do caule do que no das raízes, característica esta que está relacionada com a segurança da condução hídrica (Carlquist 1977; Alves 1995; Psaras e Sofroniou 1999). Desta forma, a maior frequência de vasos no caule pode estar garantindo a segurança da condução de água; a raiz, por sua vez, apresenta maior produção de células parenquimáticas e fibras semelhantes ao parênquima axial que tem função de reserva, de grande importância neste órgão.

O diâmetro de vasos é uma característica enfatizada nesta discussão porque está relacionada com a eficiência e a segurança da condução hídrica. O diâmetro de vasos foi maior no lenho do caule que no de raiz das plantas de *E. contortisiliquum* e esta observação não está em conformidade com o que foi observado em outros estudos comparativos entre

caule e raiz (Carlquist e Wilson 1995; Ewers *et al.* 1997; Psaras e Sofroniou 1999, 2004; Machado *et al.* 1997, 2007; McElrone *et al.* 2004), nos quais foi demonstrado que o diâmetro de elementos traqueais é maior em raízes quando comparado aos caules. Entretanto, Machado *et al.* (2007) observaram vasos mais estreitos no lenho de raiz de duas espécies de *Styrax* de Floresta Atlântica; segundo as autoras, no lenho destas raízes, os vasos mais estreitos garantiriam a segurança contra embolismos quando a disponibilidade de água diminui, considerando que estas raízes, por serem superficiais, estavam sujeitas às variações na disponibilidade hídrica do solo. No caso das plantas de *E. contortisiliquum* deste estudo, as raízes não estavam sujeitas às variações na disponibilidade hídrica porque recebiam água por irrigação diariamente no viveiro; então é possível que os vasos estreitos observados nas raízes dessas plantas sejam resultado de compactação, devido ao crescimento limitado das raízes nos vasos plásticos.

A presença de pontoações guarnecidas associada à presença de placa de perfuração simples está de acordo com Jansen *et al.* (2003). Segundo os autores, praticamente todos os taxa com pontoações guarnecidas apresentam placa de perfuração simples. Embora vasos com placa de perfuração simples sejam mais eficientes na condução hídrica por oferecerem menor resistência ao fluxo, são também menos seguros contra embolismos (Carlquist 2001). Uma possível explicação para a maneira pela qual as pontoações guarnecidas contribuem com a segurança de vasos com placa de perfuração simples é a contenção (por parte das guarnições da pontoação do vaso adjacente) do grau de deflexão e do aumento da porosidade da membrana da pontoação no centro da cavidade da pontoação, reduzindo a possibilidade de bolhas de ar atravessarem a membrana (Choat *et al.* 2004 *apud* Evert 2006). Embora tenha importância ecológica, a presença de pontoações guarnecidas no lenho de *E. contortisiliquum* pode ser de significado taxonômico, visto que é característica comum em plantas da família Leguminosae, a maior família com ocorrência de pontoações guarnecidas (Jansen *et al.* 2003).

Pontoações intervasculares e raiovasculares apresentaram maior diâmetro no lenho de raiz em comparação com o de caule. Maior diâmetro de pontoações intervasculares no lenho de raiz está de acordo com o observado por Psaras e Sofroniou (2004) em *Phlomis fruticosa*. Não foram encontrados registros na literatura que justificassem tal evidência, talvez devido ao fato de que alguns autores consideram esta característica conservativa.

Fibras semelhantes ao parênquima axial ocorreram em caules e raízes, entretanto, em grande quantidade no lenho de raiz das plantas estudadas. Estas fibras diferem das fibras típicas por apresentarem parede celular mais delgada e lume mais largo, geralmente possuem septos e ocorrem em faixas tangenciais alternadas com faixas de fibras comuns (IAWA

Committee 1989). Neste estudo, porém, fibras septadas não foram observadas. Fibras semelhantes ao parênquima axial foram observadas por Mennega (1997) em alguns gêneros da família Salicaceae, por Olson e Carlquist (2001) em *Moringa ruspoliana* e em algumas espécies da família Melastomaceae por Milanez (2007). Milanez (2007) sugere que as fibras semelhantes ao parênquima axial tenham função de reserva, semelhante às células parenquimáticas. Como nas plantas de *E. contortisiliquum* deste estudo as fibras semelhantes ao parênquima ocorreram em maior quantidade no lenho da raiz, é possível que elas estejam relacionadas com o armazenamento de substâncias de reserva, pois esta é uma das funções principais deste órgão.

Fibras gelatinosas foram observadas no lenho do caule e da raiz da espécie em estudo. Esau (1965) relaciona estas fibras à presença de lenho de tração no lenho das folhosas, o que está relacionado à tortuosidade no caule e à excentricidade da medula. No caso das plantas de *E. contortisiliquum* foi observado excentricidade da medula. Assim, a presença de fibras gelatinosas pode estar relacionada com a presença de lenho de tração. É importante ressaltar que apesar da excentricidade da medula, as plantas cresceram em condições de viveiro apresentavam copas com formato regular e a região de onde foram obtidas as amostras nos caules e nas raízes era retilínea. Segundo Paviani (1974) e Chalk (1989), as fibras gelatinosas podem estar relacionadas com o armazenamento de água, pois esse tipo de fibra é formado por uma grande quantidade de celulose, que é higroscópica e, portanto tem grande capacidade de adsorver água. Santos (2007) e Lima *et al.* (2009) também observaram fibras gelatinosas no lenho do caule dos indivíduos de *E. contortisiliquum*, sugerindo que a sua presença auxilie no armazenamento de água no caule. No caso das plantas jovens que apresentaram medula excêntrica, a presença de fibras gelatinosas pode estar relacionada com o lenho de tração, assim como com o armazenamento de água. A presença de fibras gelatinosas no lenho de raiz parece ser um fato incomum, já que segundo Evert (2006) não é comum a ocorrência de lenho de tração em raízes.

Fibras com extremidades bifurcadas e com terminações de formatos variados foram observadas no lenho de caule e raiz de *E. contortisiliquum*. Longo (2006) e Goulart e Marcati (2008) também observaram fibras com terminações bifurcadas e de formatos variados em no lenho do caule e da raiz de *Citharexylum myrianthum* Cham. e *Lippia salviifolia* Cham. (Verbenaceae), respectivamente. Concorda-se com Esau (1965), que estas variações nas extremidades das fibras sejam oriundas do crescimento intrusivo.

Fibras mais compridas foram observadas no lenho da raiz em comparação com o lenho do caule. Segundo Cutler (1976 *apud* Goulart e Marcati 2008), as células da raiz são,

geralmente, mais longas que a do caule. Esta observação também foi confirmada por Psaras e Sofroniou (1999, 2004) para *Capparis spinosa* e para *Phlomis fruticosa*, respectivamente, e por Machado *et al.* (2007) para *Styrax*.

A espessura da parede das fibras foi maior no lenho de caule quando comparado com o de raiz das plantas estudadas. Fibras mais resistentes mecanicamente, com paredes mais espessas no lenho do caule dão maior suporte à copa.

O parênquima axial dos indivíduos analisados apresentou-se vasicêntrico, eventualmente aliforme losangular e formando confluências, características também observadas por Détienne e Jacquet (1983), Mainieri e Chimelo (1983), Mainieri e Chimelo (1989), Richter e Dallwitz (2000), InsideWood (2004), Lima (2005), Evans *et al.* (2006) e Santos (2007). Entretanto, Boninsegna *et al.* (1989) e Lima (2005) observaram também faixas de parênquima axial no lenho do caule desta espécie, o que não foi encontrado na madeira das plantas deste estudo. Segundo Esau (1965), as células do parênquima axial, de forma geral, são importantes para atividades essenciais da planta, como por exemplo: fotossíntese; assimilação; respiração; armazenamento; secreção; e excreção. A mesma autora ainda se refere à importante função destas células na condução hídrica ascendente desempenhada pelos elementos traqueais do xilema (no caso, os vasos). O parênquima axial que está ligado aos vasos por meio de numerosas pontoações, auxiliando na condução hídrica, foi chamado de tecido acessório por Braun (1984). A principal função deste tecido acessório seria a de criar maior força osmótica dentro dos vasos, através da mobilização de substâncias osmoticamente ativas, contribuindo para aumentar o fluxo nos vasos (Braun, 1984). Em *E. contortisiliquum* foi observada grande quantidade de amido nas células do parênquima axial ligado aos vasos, observação também feita por Santos (2007) e Lima *et al.* (2009) para o lenho do caule de plantas adultas desta mesma espécie. Segundo Braun (1984), o amido estocado em células do parênquima axial não seria reserva, mas simplesmente depósitos de açúcares guardados como substância osmoticamente inativa, que estaria disponível no caso de haver necessidade de regular a concentração da seiva. No caso da espécie em estudo, o parênquima axial com abundância de amido teria fundamental importância, pois a quebra deste amido em açúcares contribuiria com uma maior força osmótica dentro dos vasos, garantindo a condução hídrica, mesmo nos períodos desfavoráveis. Embora as plantas de *E. contortisiliquum* tenham recebido irrigações diárias em viveiro, sofreram desfolha em determinadas épocas do ano. O amido estocado nas células do parênquima axial no lenho do caule e raiz das plantas estudadas possivelmente contribuiu com a manutenção da condução hídrica das plantas em

viveiro nos períodos em que estas sofreram a desfolha, visto que o crescimento se manteve regularmente mesmo durante estes períodos.

Cristais prismáticos em células do parênquima axial do lenho do caule de *E. contortisiliquum* também foram observados por Evans *et al.* (2006), Santos (2007) e Lima *et al.* (2009). Detiënne e Jacquet (1983) comentam que estes cristais podem ou não estar presentes no lenho desta espécie e quando estão presentes, ocorrem em pouca quantidade. A presença de cristais também foi citada por Metcalfe e Chalk (1950) que comenta ser comum a presença de cristais nas células parenquimáticas do lenho de alguns gêneros da família Leguminosae-Mimosoideae, inclusive o *Enterolobium*.

Raios mais altos e maior frequência de raios foram observados no lenho de caule. Goulart e Marcati (2008) também observaram raios mais altos no lenho de caule em *Lippia salvifolia* Cham. (Verbenaceae), mas não foram encontrados registros que justifiquem tal observação.

Em síntese, entre as características anatômicas quantitativas do lenho do caule das plantas jovens de *E. contortisiliquum* cultivadas nestas diferentes condições edáficas, houve variação na frequência de vasos e no diâmetro de fibras, maior no lenho das plantas cultivadas no solo com menor capacidade de retenção de água (LVA) e valores maiores de comprimento de fibras e diâmetro de pontoações no lenho das plantas cultivadas em NV, cuja capacidade de retenção de água e nível de fertilidade são maiores. Entre as características anatômicas quantitativas do lenho da raiz destas plantas, houve variação no comprimento dos elementos de vaso, no diâmetro de vasos, no diâmetro e na espessura da parede de fibras e no diâmetro de pontoações raiovasculares, maiores no lenho das plantas cultivadas em NV. As características anatômicas do lenho de raiz descritas neste estudo para *E. contortisiliquum* sugerem que assim como os caules, as raízes também estão adaptadas a diferentes condições edáficas; por exemplo, quanto ao diâmetro maior de vasos em NV e frequência maior de vasos em LVA. Comparando o lenho do caule com o da raiz, cristais prismáticos foram observados no lenho do caule, somente, e maior quantidade de fibras semelhantes ao parênquima foi observada no lenho de raiz. Quanto às características anatômicas quantitativas, o caule apresentou frequência de vasos maior, fibras mais curtas, de menor diâmetro e com parede mais espessa, raios mais altos e numerosos, além de diâmetro menor de pontoações intervasculares e raiovasculares em comparação com o lenho de raiz. Estas variações também foram observadas no lenho de outras espécies analisado por outros autores, como foi comentado anteriormente, cujo lenho de caule e raiz foi estudado comparativamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E. S. (1995) The effects of the pollution on wood of *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae). IAWA Journal, 16(1), 1995: 69 -80
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. (2000) Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. IAWA Journal 21(4): 3-30.
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. (2002). Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. IAWA Journal 23(4): 391-418.
- BERLYN, G. P.; MIKSCHE, J. P. (1976) Botanical microtechnique and cytochemistry. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- BONINSEGNA, J. A.; VILLALBA, R.; AMARILLA, L.; OCAMPO, J. 1989 Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tress species in Misiones, Argentina. IAWA Bulletin 10(2): 161-169.
- BRAGA, R. (1976) Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará. Mossoró: ESAM. Coleção Mossoreense, 42. 3 ed.
- BRAUN, H. J. (1984) The significance of the acessory tissues of the hydrosystem for osmotic water shifting as the second principle of water ascent, with some thoughts concerning the evolution trees. IAWA Bulletin 5(4): 275-294.
- BUKATSCH, F. (1972) Bermerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. Mikrokosmos 61:255.
- CARLQUIST, S. (1977) Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. Amer. J. Bot. 64(7):887-896.
- CARLQUIST, S. (2001) Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. 2 ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- CARLQUIST, S.; Wilson, E. J. (1995) Wood Anatomy of *Drosophyllum* (Droseraceae): Ecological and Phylogenetic Considerations. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 122(3): 185-189.
- CAMARGOS, J. A. A.; CORADIN, V. T. R. C.; CZARNESKI, C. M.; OLIVEIRA, D.; MEGUERDITCHIAN, I. (2001) Catálogo de Árvores do Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Laboratório de Produtos Florestais. Brasília: Ed. IBAMA.
- CARVALHO, P. E. R. (1994) Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Colombo, EMBRAPA – CNPF.

- CHALK, L. Fibers. In: C. R, METCALFE; L. CHALK. (1989) *Anatomy of Dicotyledons: Wood structure and conclusion of the general introduction*. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, v. 2.
- DETIENNE, P. ; JACQUET, P. (1983) *Atlas d'identification des bois de l'Amazonie e régions voisines*. Nogent-sur-Marne: Centre technique Forestier Tropical. 640 p.
- DIAS-LEME, C. L. (1994) *Anatomia comparada do lenho do caule, raiz e ramo de algumas espécies de Euphorbiaceae da Mata Atlântica*. Dissertação de Mestrado em Ciências na Área de Botânica. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ESAU, K. (1965) *Plant Anatomy*. 2 ed. New York: John Wiley and Sons.
- ESEMMANN-QUADROS, K. (2001) *Anatomia do lenho de Clusia criuva Camb.: órgãos, hábitos e ambientes*. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- EVANS, J. A.; GASSON, P. E.; LEWIS, G. P. (2006) *Wood anatomy of the Mimosoideae (Leguminosae)*. IAWA Journal, supplement 5.
- EVERT, F. R. (2006) *Esau's Plant Anatomy. Meristems, cells and tissues of the plant body: The structures and development*. 3 ed. John Wiley and Sons, New Jersey.
- EWERS, F.W.; CARLTON, M. R.; FISHER, J. B.; KOLB, K. J.; TYREE, M. T. (1997) *Vessel diameters in roots versus stems of tropical lianas and other growth forms*. IAWA Journal, 18(3): 261-279.
- FRANKLIN, G. L. (1945) *Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resins composites, and a new macerating method for wood*. Nature 155, n. 3924, p.51.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (2002) *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Piracicaba: IPEF.
- GOULART, S. L. ; MARCATI, C. R. (2008) *Anatomia comparada do lenho em raiz e caule de Lippia salviifolia Cham. (Verbenaceae)*. Revista Brasileira de Botânica 31(2): 263-275.
- IAWA COMMITTEE (International Association of Wood Anatomists Committee). (1989) *List of microscopic features for hardwood identification*. IAWA Bulletin 10: 219-332.
- INSIDEWOOD. 2004-onwards. Disponível em:
<http://insidewood.lib.ncsu.edu/search/index.cfm?e=fulldescription&q=2860>. Acessado em 15/12/2006.
- JANSEN, S., BASS, P., GASSON, P. & SMETS, E. 2003. *Vesture pits: Do they promote safer water transport?* International Journal of Plant Sciences 164:405-413
- JOHANSEN, S. (1940) *A Plant microtechnique*. Mcgraw_Hill Book Co, New York.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. (1997) *Manual básico de métodos em morfologia vegetal*. Seropédica, RJ: EDUR.

- LEBEDENKO, L.A. (1962) Comparative anatomical analysis of the mature wood of roots and stems of some wood plants. Trudy Institute Lesa i Drevesiny Akademie. Nauk SSSR (Sib. Otdel.) 51: 124-134.
- LEVITT, J. (1980) Responses of plants to environmental stresses. v.I – Chilling, freezing and high temperature stresses. Physiological Ecology – a series of monographs, texts and treatises. Academic Press, New York.
- LIMA, R. S.; OLIVEIRA, P. L.; RODRIGUES, L. R. (2009) Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae-Mimosoideae) ocorrente em dois ambientes. Revista Brasil. Bot., 32(2): 361-374.
- LONGO, L. R. (2006) Anatomia comparada da madeira e da casca de raiz e caule em *Cytharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae). Relatório de pesquisa em Ciência Florestal para obtenção de título de Engenheiro Florestal. 86 p. Universidade Estadual Paulista, Depto. de Recursos Naturais – Ciências Florestais, 2006.
- LORENZI, H. (1998) Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2ª ed. Nova Odessa, Editora Plantarum.
- LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. (1968) Catálogo das madeiras da Amazônia. Ministério do Interior. Belém: Superintendência do desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), v. 2.
- LUCHI, A. E.; SILVA, L. C. P.; MORAES, M. A. (2005) Anatomia comparada do lenho de *Xylopia aromática* (Lam.) Mart. em áreas de cerrado e plantação de *Pinus elliottii* Engelm. Revista Brasileira de Botânica, 28(4): 809-820.
- MACHADO, S. R.; ANGYALOSSY, V.; MORRETES, B. L. (1997) Comparative wood anatomy of root and stem in *Styrax camporum* (Styracaceae). IAWA Journal 18(1): 13-25.
- MACHADO, S. R.; MARCATI, C. R.; MORRETES, B. L.; ANGYALOSSY, V. (2005) Comparative bark anatomy of root and stem in *Styrax camporum* (Styracaceae). IAWA Journal 26(4): 477-487.
- MACHADO, S. R.; RODELLA, R. A.; ANGYALOSSY, V.; MARCATI, C. R. (2007) Structural variations in root and stem wood of *Styrax* (Styracaceae) from Brazilian forest and cerrado. IAWA Journal 28(2): 173-188.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P.; ALFONSO, V. A. (1983) Manual de Identificação das Principais Madeiras Comerciais Brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Divisão de Madeiras. 241p.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. (1989) Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Divisão de Madeiras. 418p.
- McELRONE, A. J.; POCKMAN, W.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; JACKSON, R. B. (2004) Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth. New Phytologist, 163: 507–517.

- MENNEGA, A. M. W. (1997) Wood anatomy of the Hippocrateoideae (Celastraceae). *Iawa Journal*, 18(4): 331-368.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. (1950) *Anatomy of Dicotyledons*. v. 1 e 2. Oxford: Clarenton Press.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. (1983) *Anatomy of Dicotyledons*. v. 2. Oxford: Clarenton Press. 297p.
- MILANEZ, C. R. D. (2007) Estudos anatômicos e ultra-estruturais em Melastomataceae de Cerrado. 2007. 131f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas - Botânica) – Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- NOGUEIRA Jr., L. R. (2000) Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamento com diferentes associações de espécies da Mata Atlântica.. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- OLSON, M. E; CARLQUIST. S. (2001) Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology, and systematics in *Moringa* (Moringaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 135: 315-348.
- PALHARES, D. *et al.* (2007) Comparative wood anatomy of stem, root and xylopodium of *Brosimum gaudichaudii* (moraceae). *IAWA Journal*, 28 (1): 83-94.
- PAVIANI, T.I. (1974) Sobre a ocorrência de fibras gelatinosas em *Plathymania reticulata* Benth. *Ciência e Cultura*. 26:783-786.
- PENFOUND, W. T. (1931) Plant anatomy as conditioned by light intensity and soil moisture. *American Journal of Botany*, 18(7): 558-572.
- PSARAS, G.K. & SOFRONIOU, I. 1999. Wood anatomy of *Capparis spinosa* from an ecological perspective. *IAWA Journal* 20(4):419-429.
- PSARAS, G. K.; SOFRONIOU, I. (2004) Stem and root anatomy of the srub *Phlomis fruticosa* (Labiata). *IAWA Journal* 25(1):71-77.
- RICHTER, H.G; DALLWITZ, M.J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 16th April 2006. Disponível em: <http://delta-intkey.com>. Acessado em 15/12/2006.
- ROESER, K. R. (1972) Die Nadel der Schwarzkiefer. Massenprodukt und kunstwerk der Natur. *Mikrokosmos* 61: 33-36.
- SANTOS, T. A. (2007) Anatomia do lenho de *E. contortisiliquum* crescendo em diferentes condições edáficas. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 719 p.

- TOMÉ Jr, J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, (1997) 247p.
- TYREE, M.T.; EWERS, F. W. (1991) Tansley Review 34. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist* 119: 345–360.
- VENTURIN, N.; VALE, F. R.; DAVIDE, A. C. (1996) Fertilização de plântulas de *Copaifera langsdorffii* Desf. (óleo copaíba). *Revista Cerne*, 2, n.2.
- ZENID, G. J. & CECCANTINI, G. C. T. (2000) Identificação Macroscópica de Madeiras. Educação continuada IPT, Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras, Divisão de Produtos Florestais, IPT, São Paulo.

- O crescimento maior tanto em altura quanto em diâmetro nas plantas de *E. contortisiliquum* ocorreu em substrato comercial, seguido pelas plantas que cresceram em NV.

- Houve diferenças na quantidade de tecidos formados quando se comparou o lenho do caule com o lenho de raiz, e também comparando os diferentes solos.

- De um modo geral, as características anatômicas qualitativas do lenho do caule das plantas de *Enterolobium contortisiliquum* coincidiram com o que já foi relatado na literatura.

- Entre os diferentes solos, não houve diferença nas características anatômicas qualitativas do lenho das plantas jovens de *E. contortisiliquum*.

- Quando se comparou o lenho do caule das plantas jovens cultivadas em NV com o lenho do caule das plantas jovens cultivadas em LVA, as plantas de NV tiveram mais vasos por mm², fibras mais compridas e diâmetro maior de pontoações intervasculares e raiovasculares;

- Quando se comparou o lenho da raiz das plantas cultivadas em NV com o lenho da raiz das plantas cultivadas em LVA, as plantas de NV apresentaram elementos de vaso mais largos e vasos mais compridos e fibras com parede mais espessa e mais largas, além de diâmetro maior de pontoações raiovasculares.

- Considerando a diferença quanto à disponibilidade hídrica e quanto ao nível de fertilidade entre os solos NV e LVA (NV é fértil e tem alta capacidade de retenção de água, enquanto LVA é pouco fértil e tem baixa capacidade de retenção de água) as variações nas características anatômicas entre as plantas dos dois solos que não puderam ser relacionadas com a disponibilidade hídrica do solo possivelmente se devem à diferença de fertilidade entre os solos NV e LVA. Isto porque as plantas de *E. contortisiliquum* de ambos os solos receberam a mesma quantidade de água por irrigação durante todo o período de crescimento no viveiro; estando a água estava facilmente disponível para as plantas, possivelmente elas não sofreram estresse hídrico.

- Entre caule e raiz, houve diferença quanto à presença de cristais prismáticos no lenho de caule somente, e maior quantidade de fibras semelhantes ao parênquima axial no lenho da raiz; o lenho de caule apresentou vasos mais largos e numerosos, fibras mais curtas, de menor diâmetro e com parede mais espessa, raios mais altos e numerosos, além de menor diâmetro de pontoações intervasculares e raiovasculares em comparação com o lenho de raiz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR-RODRIGUEZ, S.; TERRASAS, T.; LÓPEZ-MATA, L. Anatomical wood variation of *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) along its natural range in Mexico. *Trees*, v. 20, p. 253-261, 2006.
- ALVES, E. S. The effects of the pollution on wood of *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae). *IAWA Journal*, v.16, n.1, p. 69 -80, 1995.
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. *IAWA Journal* v. 21, n. 4, p. 3-30, 2000.
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. 2002. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *IAWA Journal* v. 23, n. 4, p. 391-418, 2002.
- ANTONY, F.; JORDAN, L.; SCHIMLECK, L. R.; DANIELS, R. F.; CLARK III, A. The effect of mid-rotation fertilization on the wood properties of loblolly pine (*Pinus taeda*). *IAWA Journal*, v. 30, n. 1, p. 49-58, 2009.
- ARNOLD, D. H.; MAUSETH, J. D. Effects of environmental factors on development of wood. *American Journal of Botany*, v. 86, n. 3, p. 367-371, 1999.
- ATKINSON, C. J.; TAYLOR, J. M. Effects of elevated CO₂ on Stem growth, vessel area and hydraulic conductivity of oak and cherry seedlings. *New Phytologist*, v. 133, n. 4, p. 617-626, 1996.
- BAAS, P. Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy: History and perspectives. In: BAAS, P. (ed.): *New perspectives in wood anatomy*. The Hague Martinus Nijhoff Publishers, 1982.
- BAAS, P., WHEELER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. *IAWA Bulletin* v. 4, p.141-159, 1983.
- BAAS, P.; SCHWEINGRUBER, H. Ecological trends in the wood anatomy of trees, shrubs and climbers from Europe. *IAWA Bull.* n.s. 8, p. 245-274, 1987.
- BARAJAS-MORALES, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. *IAWA Bulletin* v. 6, p.355-364, 1985.
- BARROS, C. F. *et al.* Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, v. 57 n. 3, p. 443-460, 2006.

- BERLYN, G. P.; MIKSCHE, J. P. Botanical microtechnique and cytochemistry. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1976.
- BISSING, D. R. 1982. Variation in qualitative anatomical features of the xylem of selected dicotyledonous woods in relation to water availability. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, v. 109, n. 3, p. 371-384.
- BONINSEGNA, J. A.; VILLALBA, R.; AMARILLA, L.; OCAMPO, J. Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. *IAWA Bulletin* v. 10, n. 2, p. 161-169, 1989.
- BRAGA, R. Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará. Mossoró: ESAM. Coleção Mossoreense, 42. 3ª edição, 1976.
- BRAUN, H. J. The significance of the accessory tissues of the hydrosystem for osmotic water shifting as the second principle of water ascent, with some thoughts concerning the evolution trees. *IAWA Bulletin* v.5, n. 4, p. 275-294, 1984.
- BRITO, J. O.; FERRAZ, E. S. B.; BARRICHELLO, L. E. C.; COUTO, H. T. Z.; A adubação mineral e seus efeitos sobre os anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* Var. *bahamensis*. IPEF, n.32, p.5-17, 1986.
- BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. *Mikrokosmos* v.61, p. 255, 1972.
- CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *Amer. J. Bot.* v. 64, n.7, p.887-896, 1977.
- CARLQUIST, S. Wood Anatomy of Tremandraceae: Phylogenetic and Ecological Implications. *American Journal of Botany*, v. 64, n. 6, p. 704-713, 1977.
- CARLQUIST, S. Wood Anatomy of *Illicium* (Illiciaceae): Phylogenetic, Ecological, and Functional Interpretations. *American Journal of Botany*, v.69, n.10, p. 1587-1598, 1982.
- CARLQUIST, S. Wood Anatomy of Coriariaceae: Phylogenetic and Ecological Implications. *Systematic Botany*, v.10, n. 2, p. 174-183, 1985.
- CARLQUIST, S.; Wilson, E. J. Wood Anatomy of *Drosophyllum* (Droseraceae): Ecological and Phylogenetic Considerations. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, v. 122, n. 3, p. 185-189, 1995.
- CARLQUIST, S. Wood Anatomy of *Argyroxiphium* (Asteraceae): Adaptive Radiation and Ecological Correlations. *Journal of the Torrey Botanical Society*, v. 124, n. 1, p. 1-10, 1997.
- CARLQUIST, S. Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. 2 ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001.
- CARLQUIST, S. Wood and stem anatomy of woody Amaranthaceae s.s.: ecology, systematics and the problems of defining rays in dicotyledons, 2003.

- CARLQUIST, S.; HOEKMAN, D. A. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. IAWA Bulletin v. 6, p. 319-347, 1985.
- CARLQUIST, S.; Wilson, E. J. Wood Anatomy of *Drosophyllum* (Droseraceae): Ecological and Phylogenetic Considerations. Bulletin of the Torrey Botanical Club, v. 122, n. 3, p. 185-189, 1995.
- CAMARGOS, J. A. A.; CORADIN, V. T. R. C.; CZARNESKI, C. M.; OLIVEIRA, D.; MEGUERDITCHIAN, I. Catálogo de Árvores do Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Laboratório de Produtos Florestais. Brasília: Ed. IBAMA, 2001.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Colombo, EMBRAPA – CNPF, 1994.
- CECCANTINI, G. Anatomia ecológica do lenho de espécies de cerrado e mata: *Casearia sylvestris* Sw e *Machaerium villosum* Vog. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- CHALK, L. Fibers. In: C. R, METCALFE and L. CHALK. Anatomy of Dicotyledons: Wood structure and conclusion of the general introduction. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, v 2, 1989.
- DE MICCO, V.; ARONNE, G; BAAS, P. Wood anatomy and hydraulic architecture of stems and twigs of some Mediterranean trees and shrubs along a mesic-xeric gradient. Trees v. 22, p. 643-655, 2008.
- DENARDI, L., MARCHIORI, J. N. C. Ecological wood anatomy of *Blepharocalyx salicifolius* (H. B. K.) Berg. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 119-127, 2005.
- DETIENNE, P. ; JACQUET, P. Atlas d'identification des bois de l'Amazonie e régions voisines. Nogent-sur-Marne: Centre technique Forestier Tropical, 1983. 640 p.
- DICKISON, H. C. 2000. Integrative Plant Anatomy. Harcourt Academic Press, San Diego.
- ESAU, K. Plant Anatomy. 2 ed. New York: John Wiley and Sons, 1965.
- ESEMMANN-QUADROS, K. Anatomia do lenho de *Clusia criuva* Camb.: órgãos, hábitos e ambientes. 2001. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- EVANS, J. A.; GASSON. P. E.; LEWIS, G. P. Wood anatomy of the Mimosoideae (Leguminosae). IAWA Journal, supplement 5, 2006.
- EVERT, R. F. Esau's Plant Anatomy. Meristems, cells and tissues of the plant body: their structure, function and development. John Wiley and Sons, New Jersey, 2006.
- EWERS, F.W.; CARLTON, M. R.; FISHER, J. B.; KOLB, K. J.; TYREE, M. T. Vessel diameters in roots versus stems of tropical lianas and other growth forms. IAWA Journal, v. 18, n.3, p. 261-279, 1997.

- FAN, Z-X; CAO, K-F; BECKER, P. Axial and radial variation in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. *IAWA Journal*, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2009.
- FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resins composites, and a new macerating method for wood. *Nature* v. 155, n. 3924, p.51, 1945.
- FUKAZAWA, K; OHTANI, J. Within-a-tree variation of wood element size in *Tilia japonica*. *IAWA Bulletin n.s.*, v. 3 p. 201-206, 1982.
- GARTNER, B. L. Patterns of xylem variation within a tree and their hydraulic and mechanical consequences. *In: Plant Stems: Physiology and Functional Morphology*. Gartner, B. L. ed. Academic Press, San Diego, California. 1995.
- GASSON, P. E.; CUTLER, D. F. Root anatomy of 17 genera growing in the British Isles. *IAWA Bulletin n.s.* 11:3-46, 1990.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, 2002.
- GOULART, S. L. ; MARCATI, C. R.. Anatomia comparada do lenho em raiz e caule de *Lippia salviifolia* Cham. (Verbenaceae). *Revista Brasileira de Botânica* v. 31, n.2, p. 263-275, 2008.
- IAWA COMMITTEE (International Association of Wood Anatomists Committee). List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* v. 10, p. 219-332, 1989.
- INSIDWOOD. 2004-onwards. Disponível em:
<http://insidewood.lib.ncsu.edu/search/index.cfm?e=fulldescription&q=2860>. Acessado em 15/12/2006.
- IQBAL, M.; GHOUSE, A. K. M. An analytical study on cell size variation in some arid zone trees of India: *Acacia nilotica* and *Prosopis spicigera*. *IAWA Bulletin n.s.*, v. 4, n. 1, p. 46-52, 1983
- JOHANSEN, S. A Plant microtechnique. McGraw_Hill Book Co, New York, 1940.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Seropédica, RJ: EDUR, 1997.
- LEBEDENKO, L.A. Comparative anatomical analysis of the mature wood of roots and stems of some wood plants. *Trudy Institute Lesa i Drevesiny Akademie. Nauk SSSR (Sib. Otdel.)* v.51, p.124-134, 1962.
- LEVITT, J. Responses of plants to environmental stresses. V.1 – Chilling, freezing and high temperature stresses. *Physiological Ecology – a series of monographs, texts and treatises*. Academic Press, New York, 1980.
- LIMA, R. S.; OLIVEIRA, P. L.; RODRIGUES, L. R. Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae-Mimosoideae) ocorrente em dois ambientes. *Revista Brasileira de Botânica*, v.32, n.2, p.361-374, 2009.

- LONGO, L. R. Anatomia comparada da madeira e da casca de raiz e caule em *Cytharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae). Relatório de pesquisa em Ciência Florestal para obtenção de título de Engenheiro Florestal. 86 p. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Depto. de Recursos Naturais – Ciências Florestais, 2006.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2 ed. Nova Odessa, Editora Plantarum, 1998
- LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. Catálogo das madeiras da Amazônia. Ministério do Interior. Belém: Superintendência do desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), v. 2, 1968.
- LUCHI, A. E. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. Revista Brasileira de Botânica, v.27, n.2, p.271-280, 2004.
- LUCHI, A. E.; SILVA, L. C. P.; MORAES, M. A. Anatomia comparada do lenho de *Xylopia aromática* (Lam.) Mart. em áreas de cerrado e plantação de *Pinus elliottii* Engelm. Revista Brasileira de Botânica, v.28, n.4, p.809-820, 2005.
- LUIS, M. de; GRICAR, J.; CUFAR, K.; RAVENTÓS, J. Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. IAWA Journal, v. 28, n. 4, 389-404, 2007.
- MACHADO, S. R.; ANGYALOSSY, V.; MORRETES, B. L. Comparative wood anatomy of root and stem in *Styrax camporum* (Styracaceae). IAWA Journal v. 18, n. 1, p. 13-25, 1997.
- MACHADO, S. R.; MARCATI, C. R.; MORRETES, B. L.; ANGYALOSSY, V. Comparative bark anatomy of root and stem in *Styrax camporum* (Styracaceae). IAWA Journal v. 26, n. 4, p. 477-487, 2005.
- MACHADO, S. R.; RODELLA, R. A.; ANGYALOSSY, V.; MARCATI, C. R. Structural variations in root and stem wood of *Styrax* (Styracaceae) from Brazilian forest and cerrado. IAWA Journal v. 28, n. 2, p. 173-188, 2007.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P.; ALFONSO, V. A. Manual de Identificação das Principais Madeiras Comerciais Brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Divisão de Madeiras, 1983. 241p.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Divisão de Madeiras, 1989, 418p.
- MALAN, F. S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. 1995.
- MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. de floresta e cerradão. Revista Brasileira de Botânica, v. 24, p. 311-320, 2001.
- MAUSETH, J. D.; STONE-PALMQUIST, M. E. Root wood differs strongly from shoot wood within individual plants of many Cactaceae. International Journal of Plant Sciences, v. 162, n.4, p. 767-776, 2001.

- McELRONE, A. J.; POCKMAN, W.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; JACKSON, R. B. Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth. *New Phytologist*, v. 163, p. 507–517, 2004.
- MENNEGA, A. M. W. Wood anatomy of the Hippocrateoideae (Celastraceae). *Iawa Journal*, v.18, n.4, p.331-368, 1997.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. *Anatomy of Dicotyledons*. v. 1 e 2. Oxford: Clarenton Press, 1950.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. *Anatomy of Dicotyledons*. v. 2. Oxford: Clarenton Press, 1983. 297p.
- MILANEZ, C. R. D. Estudos anatômicos e ultra-estruturais em Melastomataceae de Cerrado. 2007. 131f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas - Botânica) – Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- MONTEFUSCO, A. R. G. Anatomia ecológica do lenho de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (Leguminosae), barbatimão, no Parque Estadual do Cerrado – Jaguariaíva – PR. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Paraná. 2005.
- MÖRLING, T. Changes caused by mid-rotation fertilizer application to the fiber anatomy of *Pinus radiate*. *Annals Forest. Science*, v. 59, p. 29–40, 2002.
- NYAKUENGAMA, J.G., DOWNES, G.M. e N.G., J. Changes caused by mid-rotation fertilizer application to the fiber anatomy of *Pinus radiate*. *Iawa Journal*. V. 24, p. 431-448, 2003.
- NOGUEIRA Jr., L. R. Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamento com diferentes associações de espécies da Mata Atlântica. 2000. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- NOSHIRO, S.; BAAS, P. Latitudinal trends in wood anatomy within species and genera: case study in *Cornus S.L.*(Cornaceae). *American Journal of Botany*, v. 87, n. 10, p. 1495-1506, 2000.
- OLSON, M. E.; CARLQUIST, S. Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology, and systematics in *Moringa* (Moringaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 135, p. 315-348, 2001.
- PALHARES, D. *et al.* Comparative wood anatomy of stem, root and xylopodium of *Brosimum gaudichaudii* (moraceae). *Iawa Journal*, v. 28, n. 1, p. 83-94, 2007.
- PAVIANI, T.I. Sobre a ocorrência de fibras gelatinosas em *Plathymenia reticulata* Benth. *Ciência e Cultura*. V. 26, p.783-786, 1974.
- PENFOUND, W. T. Plant anatomy as conditioned by light intensity and soil moisture. *American Journal of Botany*, v. 18, n. 7, p. 558-572, 1931.

- PEREIRA, B. A. S. Estudo morfo-anatômico da madeira, casca e folhas de duas variedades de vicariantes de *Sclerolobium paniculatum* Vogel de mata e cerrado. 1990. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- PIRES, I. P.; MARCATI, C. R. Anatomia e uso da madeira de duas variedades de *Sclerolobium paniculatum* Vog., do Sul do Maranhão, Brasil. Acta Botanica Brasílica, v. 19, n. 4, p. 669-678, 2005.
- PSARAS, G.K.; SOFRONIOU, I. Wood anatomy of *Capparis spinosa* from an ecological perspective. IAWA Journal v. 20, n. 4, p. 419-429, 1999.
- PSARAS, G. K.; SOFRONIOU, I. Stem and root anatomy of the shrub *Phlomis fruticosa* (Labiata). IAWA Journal v. 25, n. 1, p. 71-77, 2004.
- RAJPUT, K. S.; RAO, K. S.; KIM, Y. S. Cambial activity and wood anatomy in *Prosopis spicigera* (Mimosaceae) affected by combined air pollutants. IAWA Journal v. 29, n. 2, p. 209-219, 2008.
- RICHTER, H.G; DALLWITZ, M.J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 16th April 2006. Disponível em: <http://delta-intkey.com>. Acessado em 15/12/2006.
- R Development Core Team 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- ROESER, K. R. Die Nadel der Schwarzkiefer. Massenprodukt und kunstwerk der Natur. Mikrokosmos v. 61, p. 33-36, 1972.
- SANTOS, T. A. Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosidae) crescendo em diferentes condições edáficas. 2007. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- SAUCIER, J.R. e IKE, A.F. Effect of fertilization on selected wood properties of sycamore. Forest Prod. Journal, Madison, v. 19, n. 9, p. 93-96, 1969.
- STOKKE, D.D.; MANWILLER, F.G. Proportions of wood elements in stem, branch, and root wood of black oak (*Quercus velutina*). IAWA Journal, v. 15, n. 3, p. 301-310, 1994.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TOMÉ Jr, J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.
- TSUCHIYA, R. ;FURUKAWA, I. Radial variation in the size of axial elements in relation to stem increments in *Quercus serrata*. IAWA Journal, v. 30, n. 3, p. 331-342, 2009.
- TSUCHIYA, R. ;FURUKAWA, I. Radial variation of vessel lumen diameter in relation to stem increments in 30 hard-wood species. IAWA Journal, v. 30, n. 1, p. 15-26, 2009.

- TYREE, M.T.; EWERS, F. W. Tansley Review 34. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist* v. 119, p. 345–360, 1991.
- URBINATI, C *et al.* Variação estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. *Acta Botanica Brasilica* v. 17, n. 3, p. 421-437, 2003.
- VENTURIN, N.; VALE, F. R.; DAVIDE, A. C. Fertilização de plântulas de *Copaifera langsdorffii* Desf. (óleo copaíba). *Revista Cerne*, v.2, n.2, 1996
- VITAL, B. R. Reflexos da adubação mineral na qualidade e utilização da madeira. *In: Benedito Rocha Vital. (Org.). Relação solo-eucalipto. 1 ed. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. p. 323-330.*
- VILLAGRA, P. E; ROIG JUÑENT, F. A. Wood structure of *Prosopis alpataco* and *P. argentina* growing under different edaphic conditions. *IAWA Bulletin* v. 18, p. 37-51, 1997.
- WALSH, M. A. Xylem anatomy of *Hibiscus* (Malvaceae) in relation to habit. *Botanical Gazette*, v. 136, n. 1, p. 30-40, 1975.
- WEBBER, I. E. The woods of sclerophyllous and desert shrubs of California. *American Journal of Botany*, v. 23, n. 3, p. 181-188, 1936.
- WHEELER, E; BASS, P. A survey of the fossil record for dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy. *IAWA Bulletin* n.s., v. 12, n. 3, p. 275-332, 1991.
- WILLIAMS, R. F.; HAMILTON, J. R. The effect of fertilization on four wood properties of slash pine. *Journal Forest*, v. 59, p. 662-665, 1961.
- ZENID, G. J. & CECCANTINI, G. C. T. (2000) Identificação Macroscópica de Madeiras. Educação continuada IPT, Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras, Divisão de Produtos Florestais, IPT, São Paulo.
- ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. Wood variation: its causes and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363 p.