

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANATOMIA DO LENHO E DO CARVÃO DE ESPÉCIES
ARBÓREAS DO CERRADO NO ESTADO DE SÃO PAULO,
BRASIL**

THAÍS ALVES PEREIRA GONÇALVES

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP
SETEMBRO - 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANATOMIA DO LENHO E DO CARVÃO DE ESPÉCIES
ARBÓREAS DO CERRADO NO ESTADO DE SÃO PAULO,
BRASIL**

THAÍS ALVES PEREIRA GONÇALVES

Orientadora: Carmen Regina Marcati

Co-orientadora: Rita Scheel-Ybert

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP
SETEMBRO - 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G635a Gonçalves, Thais Alves Pereira, 1982-
Anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas do cerrado no Estado de São Paulo, Brasil / Thais Alves Pereira Gonçalves. - Botucatu : [s.n.], 2010.
xii, 111 f. : il. (algumas color.), grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2010
Orientador: Carmen Regina Marcati
Co-orientador: Rita Scheel-Ybert
Inclui bibliografia.

1. Anatomia do lenho. 2. Antracologia. 3. Carvão. 4. Cerrado paulista. 5. Espécies lenhosas. I. Marcati, Carmen Regina. II. Scheel-Ybert, Rita. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

Bibliotecário responsável: Janaina Celoto Guerrero CRB-8 6456

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ANATOMIA DO LENHO E DO CARVÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DO
CERRADO NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL"

ALUNA: THAÍS ALVES PEREIRA GONÇALVES

ORIENTADORA: PROFª DRª CARMEN REGINA MARCATI
CO-ORIENTADORA: PROFª DRª RITA SCHEEL-YBERT

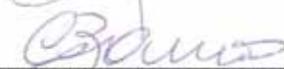
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFª DRª RITA SCHEEL-YBERT



PROFª DRª GRACIELA INES B. DE MUNIZ



PROFª DRª CLAUDIA FRANCA BARROS

Data da Realização: 09 de setembro de 2010.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Thaís A. P. Gonçalves nasceu em 17 de março de 1982 na cidade do Rio de Janeiro. Concluiu sua graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) no ano de 2006. É Mestre em Ciência Florestal pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus Botucatu, onde recebeu bolsa pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Proc. 2008/02558-0). Iniciou seus estudos em anatomia da madeira em 2001 sob a orientação do Dr. João V. F. Latorraca. É orientada em antracologia pela Dr.^a Rita Scheel-Ybert desde início de 2003. Sua principal linha de pesquisa em antracologia é a descrição da anatomia do lenho carbonizado e a curadoria da antracoteca (coleção de referência) do Laboratório de Paleoecologia Vegetal do Museu Nacional, UFRJ. Ao longo de sua carreira acadêmica: (i) participou de diversos projetos de pesquisa; (ii) foi bolsista de iniciação científica (IC) durante 3 anos consecutivos pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); (iii) trabalhou especialmente com as famílias Anacardiaceae, Annonaceae, Aquifoliaceae, Apocynaceae, Araliaceae, Asteraceae (Compositae) e Boraginaceae; (iv) recebeu a Menção Honrosa pelo trabalho de IC na XXVIII Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica da UFRJ (Fórum de Ciência e Cultura) no ano de 2006. Seu principal objetivo profissional consiste no direcionamento da antracologia para o setor florestal no Brasil.

OFEREÇO

*A todos aqueles que estão envolvidos no universo do carvão vegetal –
que este trabalho possa ser uma ferramenta útil.*

DEDICO

*Aos meus pais,
Margareth A. B. Gonçalves & Gerson Pereira Gonçalves,
e ao Tiago Redressa.*

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por me outorgar a bolsa de mestrado, sendo de valor inestimável para o desenvolvimento da presente dissertação.

À Carmen Regina Marcati por ter me recebido de braços abertos, ter-me orientando por 1 ano inteiro sem sair da cama – por motivos de saúde, pelo seu bom humor, por sua paciência e até mesmo pela falta dela! Mas, acima de tudo, por ter contribuído muito com o meu crescimento. E ao seu marido, Dirk Köedam por sua cordialidade e senso fora do comum.

À Rita Scheel-Ybert por fazer parte da minha vida desde 2002, ter me admitido na sua equipe em 2003, pela orientação e amizade... Enfim, por TUDO que você é e tem feito por mim ao longo desses anos! E a sua extraordinária filha, Yara Ybert por todo o seu carinho.

À Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida Mourão Brasil pelo auxílio imprescindível neste trabalho e principalmente por toda a orientação pessoal/profissional.

À querida Prof.^a Dr.^a Graciela I. Bolzon de Muñiz (UFPR) por todo o carinho e oportunidades oferecidas.

À Prof.^a Dr.^a Claudia F. Barros (JBRJ) por diversas contribuições *desde a minha graduação*, por ter me recomendado a Carmen e possibilitado que fossem feitas as fotos de MEV no JBRJ.

À Prof.^a Dr.^a Silvia R. Machado por todo o seu auxílio, orientações e sua extrema doçura.

Ao querido amigo e Eng. Florestal Ademi Morais Lima que sempre me motivou no meu direcionamento profissional.

À Prof.^a Dr.^a Vera T. R. Coradin (LPF/Serviço Florestal Brasileiro) pelo auxílio na seleção das espécies.

Ao Prof. Dr. Kishore S. Rajput (M.S. Baroda, Índia) pela convivência, mp3s e várias horas de papo sobre cultura indiana.

À Profa. Dra. Lician V. de A. Silveira pelo desenvolvimento das análises estatísticas.

Ao Clemente Campos, Julia Sonsin e Carmen R. Marcati pelo auxílio nas coletas.

Aos meus pais, Gerson Pereira Gonçalves & Margareth Alves Barboza Gonçalves, principalmente pelo amor imensurável, educação e segurança – sem os quais eu nada seria.

Ao Tiago Redressa por ter entrado na minha vida no início do mestrado permanecendo nela até o presente, por seu amor, cuidados constantes e auxílio no meu equilíbrio emocional.

As colegas do Laboratório de Anatomia da Madeira de Botucatu (FCA/UNESP): querida amiga Tixa (Talita Angélico) por ter me inspirado a fazer o mestrado na UNESP, antes mesmo que eu conhecesse a Carmen, por ter me auxiliado em vários sentidos e ter sido confidente em tantos outros; à querida Li (Liliane Pereira) – técnica do laboratório e “salva vidas”, por toda sua ajuda e organização; à Si-Je Julia Sonsin Oliveira – “irmã mais velha” do laboratório – pela oportunidade de ter trabalhado contigo e valiosas sugestões de conduta profissional; à irmãzinha Rafitcha Prosdocini por toda convivência; à Carol pelo seu agito e bom-humor.

Aos funcionários e professores da FCA que diretamente ou indiretamente me auxiliaram, em especial para Taynan, Lurdinha, Marlene, Selma, Prof. Adriano W. Ballarin, Prof. Luis C. Ribas, Prof.^a Izabel C. Takitane, Prof. Hernando A. L. Palma, Prof. Iraê A. Guerrini, Prof. Edson S. Mori...

Aos membros do LAPAV (Museu Nacional/UFRJ), mas especialmente para: Prof. Dr. Marcelo Carvalho pela orientação; ao amigo Luisinho na Brasa (Luis Barros) por todo seu o apoio; e ao querido Prof. Dr. Jean-Pierre Ybert – quem eu sempre admirei pelo seu excelente caráter pessoal e profissional, meus agradecimentos pelo carinho ao longo desses anos.

Aos técnicos do JBRJ: Rogério da C. Figueiredo (pelo auxílio indispensável nas fotos de MEV), querido Felipe A. Santos e Elaine Z. de Souza (pelas fotos de MEV).

Aos amigos da UNESP: Maria Dolores dos Santos, Carolzinha (Ana Carolina C. Assis), Simone, Pachel, Danila...

Aos ensinamentos e práticas que me foram ministrados pela Maria Dalva de C. Cabral (Mestra de Yoga Integral) & pelo Sifu Jorge Expedito (Kung-Fu estilo Hung-Gar).

Aos amigos: Beavis (Carlos Augusto Guedes) que é meu grande amigo e “irmão + velho” & a sua adorável Família (Glauzinha, Carlos e Sisi); a parceria do Monstrinho (Daniel Mattos) e da tríade dos Vinícius formada pelo 01 (Marcus Vinícius) + GoGoBoy (Vinícius) + Jesus (Vinícius); a minha irmãzinha indiana Rina Koyani; aos Padrinhos Douglas Pudim & Mari Prosdocini; a queridíssima Verônica Malta + Richards Satillan + Luciana Carvalho (Lu Doidona) + Tahysa Macedo + Arno Fritz... E todos aqueles que eu posso estar omitindo aqui.

Aos familiares que torceram por mim e me ajudaram nessa empreitada: Tia Zequinha & Família (principalmente meu primucho Henrique); Tia Niva; prima Marilzinha & Família; prima Márcia & Família; à linda Tidica (Tia Dica) que sempre reza por mim e me manda energias positivas!

Por último, mas não menos importante, à amada Ma Prem Ila – especialmente pela sua contribuição no passado – se não fosse por ela, quem sabe onde eu estaria no presente?!

SUMÁRIO

BIOGRAFIA DO AUTOR.....	iii
AGRADECIMENTOS	v
SUMÁRIO.....	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Antracologia	16
2.2. Carvão vegetal no Brasil.....	19
2.3. Carbonização e mudanças estruturais no lenho	21
3. JUSTIFICATIVA	28
4. OBJETIVOS.....	30
4.1. Objetivo Geral	30
4.2. Objetivos Específicos	30
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
6. RESULTADOS	40
6.1. Espécies analisadas.....	40
6.1.1. <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. (Fabaceae-Caesalpinioideae).....	40
6.1.2. <i>Dalbergia violacea</i> (Jacq.) Hoffmanns. (Fabaceae-Faboideae)	43
6.1.3. <i>Dimorphandra mollis</i> Benth. (Fabaceae-Mimosoideae)	46
6.1.4. <i>Stryphnodendron polyphyllum</i> Mart. (Fabaceae-Mimosoideae)	49
6.1.5. <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess. (Caryocaraceae).....	53
6.1.6. <i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth & Hook. f. (Chrysobalanaceae)	56
6.1.7. <i>Tapirira guianensis</i> Aubl. (Anacardiaceae)	59
6.1.8. <i>Qualea grandiflora</i> Mart. (Vochysiaceae)	63
6.1.9. <i>Vochysia tucanorum</i> Mart. (Vochysiaceae)	66
6.1.10. <i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk. (Sapotaceae).....	69
6.2. Síntese dos resultados.....	72
7. DISCUSSÃO.....	81
8. CONCLUSÕES	95
9. REFERÊNCIAS	97

LISTA DE TABELAS

Tabela I. Relação das espécies e indivíduos analisados, com seus respectivos números de xiloteca e indicação da fitofisionomia de cerrado aonde eles foram coletados.	35
Tabela II. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Copaifera langsdorfii</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	42
Tabela III. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Dalbergia violacea</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	45
Tabela IV. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Dimorphandra mollis</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	48
Tabela V. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Stryphnodendron polyphyllum</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	51
Tabela VI. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Caryocar brasiliense</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	55
Tabela VII. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Couepia grandiflora</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	58
Tabela VIII. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Tapirira guianensis</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	61
Tabela IX. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Qualea grandiflora</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	65
Tabela X. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Vochysia tucanorum</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	68
Tabela XI. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em <i>Pouteria torta</i> e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.	71

Tabela XII. Síntese dos caracteres anatômicos qualitativos das espécies analisadas. ...	73
Tabela XIII. Porcentagem média de vasos solitários e múltiplos em cada indivíduo analisado (as amostras de <i>Couepia grandiflora</i> não foram consideradas pelo fato da espécie ter vasos exclusivamente solitários).	74
Tabela XIV. Síntese dos caracteres anatômicos quantitativos das espécies analisadas – Diâmetro tangencial (μm) e frequência dos vasos (mm^2)	75
Tabela XV. Síntese dos caracteres anatômicos quantitativos das espécies analisadas – Diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares (μm) e frequência de raios (mm)	76
Tabela XVI. Síntese dos caracteres anatômicos quantitativos das espécies analisadas – Largura e altura dos raios (μm)	77
Tabela XVII. Resultados das médias e desvio padrão das mensurações feitas para lenho e carvão considerando diferentes amostragens e níveis de significância das análises estatísticas realizadas para comparar os dois grupos de amostras – Diâmetro tangencial (μm) e frequência dos vasos (mm^2).	78
Tabela XVIII. Resultados das médias e desvio padrão das mensurações feitas para lenho e carvão considerando diferentes amostragens e níveis de significância das análises estatísticas realizadas para comparar os dois grupos de amostras – Diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares (μm) e frequência de raios (mm).	79
Tabela XIX. Resultados das médias e desvio padrão das mensurações feitas para lenho e carvão considerando diferentes amostragens e níveis de significância das análises estatísticas realizadas para comparar os dois grupos de amostras – Largura e altura dos raios (μm).	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relação filogenética entre os clados das espécies analisadas (APG III).	34
Figura 2. Fotomicrografias das pontoações intervasculares no lenho e no carvão:	38
Figura 3. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Copaifera langsdorfii</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	41
Figura 4. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Dalbergia violacea</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	44
Figura 5. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Dimorphandra mollis</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	47
Figura 6. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Stryphnodendron polyphyllum</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.	50
Figura 7. Fotomicrografias dos cristais prismáticos em câmaras nas fibras do carvão de <i>Stryphnodendron polyphyllum</i> . Escala: 10 µm.....	52
Figura 8. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Caryocar brasiliense</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	54
Figura 9. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Couepia grandiflora</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	57
Figura 10. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Tapirira guianensis</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	60
Figura 11. Canal radial no carvão de <i>Tapirira guianensis</i> . Escala: 30 µm.	62
Figura 12. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Qualea grandiflora</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	64
Figura 13. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Vochysia tucanorum</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	67
Figura 14. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de <i>Pouteria torta</i> de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 µm.....	70

RESUMO

A Antracologia é uma ciência que se baseia na anatomia da madeira para realizar a análise e identificação de carvão vegetal. No Brasil, ela visa tradicionalmente obter dados paleoecológicos e paleoetnobotânicos, mas também conservacionistas e tecnológicos. As análises antracológicas são possíveis porque a estrutura do lenho se mantém no carvão, entretanto, variações morfométricas podem ocorrer. O presente estudo visa contribuir para um melhor entendimento do efeito da carbonização no lenho através da análise estrutural da anatomia antes e após carbonização. A escolha de espécies do cerrado deveu-se ao forte impacto que este bioma sofre pela devastação e, principalmente, pelo uso de suas espécies para a produção de carvão vegetal. A anatomia do lenho e do carvão obtido a 400°C foram analisadas em amostras de *Copaifera langsdorffii*, *Dalbergia violacea*, *Dimorphandra mollis*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Caryocar brasiliense*, *Couepia grandiflora*, *Tapirira guianensis*, *Qualea grandiflora*, *Vochysia tucanorum* e *Pouteria torta*, todas provenientes do cerrado e apresentando tipos anatômicos distintos. Todos os resultados quantitativos foram comparados estatisticamente. A contração anisotrópica nos carvões foi evidenciada principalmente na redução do diâmetro tangencial dos vasos, que ocorreu em 70% das espécies, mas não foi o suficiente para aumentar significativamente sua frequência; o diâmetro da abertura das pontoações intervasculares praticamente se manteve; a frequência dos raios aumentou ligeiramente; a altura e a largura dos raios variaram bastante, sendo que os raios mais largos contraíram mais que os estreitos; o parênquima axial manteve, no carvão, características semelhantes às do lenho; as fibras dos carvões perderam a distinção das camadas das paredes celulares presentes no lenho, mas mantiveram dimensões semelhantes. De modo geral, a carbonização a 400°C resultou apenas em pequenas modificações entre a estrutura original do lenho e os carvões. Estes resultados aproximam ainda mais as análises antracológicas da anatomia da madeira, sendo particularmente importante para o desenvolvimento da antracologia no Brasil.

Palavras-chave: anatomia do lenho, antracologia, carvão, cerrado paulista, espécies lenhosas.

SUMMARY

Anthracology, or charcoal analysis, is a science based on wood anatomy. In Brazil it traditionally studies palaeoenvironment and palaeoethnobotany, as well as nature conservancy and forestry technology. Anthracological analyses are possible due to the maintenance of wood structure in charcoal. The present study aims to contribute to a better knowledge of carbonization on wood anatomy. Fresh and charred cerrado woods samples were analyzed. The Brazilian cerrado is highly impacted by devastation, while its species are widely used for charcoal production. The latter were charred under 400°C. The selected species present different anatomical characteristics: *Copaifera langsdorffii*, *Dalbergia violacea*, *Dimorphandra mollis*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Caryocar brasiliense*, *Couepia grandiflora*, *Tapirira guianensis*, *Qualea grandiflora*, *Vochysia tucanorum*, and *Pouteria torta*. All the quantitative data between wood and charcoal were statistically analyzed. The anisotropic pattern of contraction in charcoals was evident as 70% of the species presented a reduction in vessels tangential diameter. Vessel frequency increase, however, was not statistically significant. Intervessel pits apertures diameters were very closely between wood and charcoal. Rays frequency slightly increased; rays height and width were extremely variable. Larger rays contract more than narrow ones. Axial parenchyma retained, in charcoal, the same dimensions and shape of wood. Charcoal fibres presented indistinct cell wall layering, but retained similar dimensions of wood fibres. Carbonization under 400°C caused only few changes between wood and charcoal, corroborating the assumption that wood anatomy and anthracology are two closely related sciences.

Key-word: wood anatomy, anthracology, charcoal, *cerrado paulista*, woody species.

1. INTRODUÇÃO

A Antracologia¹ é uma ciência multidisciplinar que tem por princípio a análise e identificação de carvões com base na anatomia da madeira. Esta ciência, tradicionalmente, visa obter dados paleoecológicos e paleoetnobotânicos que contribuem com diversas áreas do conhecimento, em especial a Arqueologia, a Paleoecologia, a Geologia e a Paleobotânica (SCHEEL *et al.* 1996a, 1996b; SCHEEL-YBERT 2001a, 2004). No Brasil, os estudos antracológicos também são aplicados para a abordagem conservacionista e tecnológica, como identificação de espécies de procedência irregular e qualidade do carvão, podendo contribuir para estudos de carvões da mesma forma que a anatomia da madeira contribui para diversas áreas. A análise antracológica é possível porque a estrutura anatômica do lenho se mantém após a carbonização, permitindo a determinação taxonômica (PRIOR & ALVIN, 1983; PRIOR & GASSON, 1993; KIM & HANNA, 2006).

No Brasil, os trabalhos em antracologia ainda são recentes e relativamente poucos, trazendo informações em três áreas principais: (i) Paleoecologia (SCHEEL-YBERT, 1998, 1999, 2000, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b; SCHEEL *et al.* 2003; SCHEEL-YBERT & DIAS 2007) – fornece informações sobre tipos de vegetação pretéritas, e conseqüentemente o clima da época, através da análise de fragmentos de carvão que podem ser provenientes tanto de incêndios naturais ou de origem antrópica, quanto de sítios arqueológicos (SCHEEL *et al.* 1996a, 1996b); (ii)

¹ Palavra derivada do grego: *anthrak* – carvão e *logos* – estudo.

Paleoetnobotânica (SCHEEL-YBERT, 1998, 1999, 2001a, 2001b, 2003a, 2003b; BIANCHINI *et al.* 2007; BEAUCLAIR *et al.* 2009) – analisa fragmentos de carvão provenientes de sítios arqueológicos que podem representar vestígios de diversos aspectos da atividade humana, como os usos que a população pré-histórica fazia da vegetação local, seja como combustível, confecção de artefatos de lenho, rituais funerários, entre outros (SCHEEL *et al.* 1996a, 1996b); (iii) Caracterização anatômica de carvões – visa à constituição de bancos de dados e chaves de identificação através da análise anatômica de lenhos atuais carbonizadas (GONÇALVES & SCHEEL-YBERT 2003; SCHEEL-YBERT *et al.* 2006).

Mais recentemente, foi proposto um direcionamento do uso da antracologia como ferramenta para identificação e consequentemente fiscalização e controle de carvão vegetal no Brasil (GONÇALVES & SCHEEL-YBERT, 2007b, 2008b; GONÇALVES *et al.* 2009). O carvão vegetal está envolvido em questões com limites praticamente indistintos no âmbito econômico, social e ambiental. A cadeia produtiva de carvão vegetal movimentava grandes quantias financeiras e, acima de tudo, o carvão vegetal serve como matéria-prima na indústria siderúrgica para a produção de ferro e aço (FERREIRA, 2000; MONTEIRO, 2006; BRASIL, 2009). A questão social apresenta o aspecto negativo, mais evidenciado pela utilização de mão-de-obra infantil e escrava, mas há também trabalhadores regularizados nas normas trabalhistas e dependentes exclusivamente da atividade do carvão vegetal (DIAS *et al.*, 2002; INSTITUTO OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2004; REPÓRTER BRASIL, 2010). Em termos ambientais, destaca-se de forma negativa a devastação de biomas, especialmente o cerrado (DUBOC *et al.*, 2007); por outro lado, é benéfico o uso industrial do carvão vegetal ao invés do carvão mineral, bem como o saldo de créditos de carbono que é positivo quando se considera o carvão obtido de florestas plantadas (FERREIRA, 2000).

O cerrado possui uma forte associação com o fogo, sendo sua flora, especialmente no estrato herbáceo-arbustivo, tipicamente pirofítica (COUTINHO 1990; MIRANDA *et al.* 2002). A tolerância ao fogo, da qual depende um grande número de espécies que ocorrem no cerrado, evidencia que este fator ecológico é antigo e importante (COUTINHO, 1990). A ocorrência de fogo no cerrado desde o Pleistoceno Superior está bem estabelecida, tendo sido demonstrada, por exemplo, na região de Cromínia (Estado de Goiás, Brasil Central) onde este foi um evento comum desde antes de 32.400 até cerca de 3.500 anos antes do presente (SALGADO-LABOURIAU & FERRAZ-VICENTINI, 1994). Atualmente, a existência de áreas grandes de cerrado é

atribuída principalmente a características edáficas e à incidência de fogo (QUEIROZ NETO, 1982; COUTINHO, 1990; OLIVEIRA & MARQUIS, 2002). Entretanto, incêndios desordenados causados pela ação antrópica são responsáveis pela perda de áreas de cerrado, principalmente para a pecuária e a agricultura. O uso de madeira para mobiliário e construção civil, bem como a demanda de carvão vegetal como fonte de energia, também contribuem para o desmatamento deste ecossistema (RATTER *et al.*, 1997; BARREIRA *et al.*, 2002; OLIVEIRA & MARQUIS, 2002; DUBOC *et al.* 2007). Avalia-se que a situação mais crítica de devastação seja a do estado de São Paulo; a ocupação original do bioma abrangia 14% do território paulista (3,4 milhões de hectares), mas atualmente restam apenas 0,84% de área de Cerrado (equivalente a 211 mil hectares), sendo que a grande parte desses remanescentes situa-se em reservas particulares (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2009).

Considerando a importância do cerrado e da sua devastação, assim como a escassez de estudos antracológicos com suas espécies, o presente estudo se destina a analisar as possíveis modificações estruturais decorrentes da carbonização em dez espécies arbóreas que ocorrem em áreas de cerrado *sensu lato* do estado de São Paulo. Deste modo, busca-se gerar maiores subsídios para a identificação de carvões, auxiliando a desmistificar o senso comum de que não é possível identificar os carvões, podendo também auxiliar no controle de ilegalidades e contribuir para o conhecimento de espécies da flora do cerrado do Estado de São Paulo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antracologia

A análise para identificação de espécies a partir de material carbonizado é bastante antiga (HEER, 1865; PREJAWA, 1896; BREUIL, 1903), entretanto o método utilizado no passado, confecção e análise de lâminas finas de material carbonizado, era muito lento e de difícil obtenção. Somente com o advento de uma metodologia mais simples, baseada no uso da microscopia de luz refletida, na década de 1960 (WESTERN, 1963; VERNET, 1973), tornou-se possível a multiplicação das análises antracológicas e a abordagem paleoecológica do estudo dos carvões. A antracologia se desenvolveu particularmente a partir da década de 70, na França, e foi trazida para o Brasil apenas no final da década de 90 (SCHEEL *et al.*, 1996b; SCHEEL-YBERT, 1998).

Diversos trabalhos em antracologia têm se multiplicado nas últimas décadas, principalmente para a reconstituição paleoecológica. A maior parte dos estudos foi realizada em regiões temperadas da Europa e do Mediterrâneo (VERNET & THIÉBAULT, 1987; HEINZ, 1991; VERNET, 1992; BADAL *et al.*, 1994; FIGUEIRAL, 1995; THIÉBAULT, 1997; HEINZ & THIÉBAULT, 1998; THÉRY-PARISOT, 2001; NELLE, 2002; MARGUERIE & HUNOT, 2007; SADORI & GIARDINI, 2007; THÉRY-PARISOT, 2010). Alguns estudos foram feitos na Patagônia (SOLARI, 1990, 1993/94; PIQUÉ I HUERTA, 1999), na Argentina (MARCONETTO,

2002), na África e no Oriente Próximo (PRIOR & WILLIAMS, 1985; TUSENIUS, 1989; NEUMANN, 1989; NEUMANN *et al.*, 1998; WILLCOX, 2002; TENGBERG, 2002).

Nos trópicos, os estudos antracológicos são mais raros e geralmente restritos a aspectos paleoetnobotânicos, por exemplo, no Equador (PEARSALL, 1979, 1983), no sul da Flórida e Caribe (NEWSON, 1993) e na Tailândia (THOMPSON, 1994). Estudos de abordagem paleoecológica existem apenas para o Brasil (e.g. SCHEEL-YBERT, 1998, 2000, 2002a; SCHEEL-YBERT *et al.*, 1996a, 2003; SCHEEL-YBERT & DIAS, 2007) e a Guiana Francesa (TARDY, 1998).

No Brasil, os estudos antracológicos têm se caracterizado por desenvolver análises paleoecológicas concomitantemente com as paleoetnobotânicas, a partir do mesmo material, o que é uma especificidade da antracologia nacional (SCHEEL-YBERT, 2001a, 2004). Neste contexto, destacam-se as análises de diversos sambaquis dos estados do Rio de Janeiro e de Santa Catarina (SCHEEL-YBERT, 1998, 1999, 2000, 2001a, 2001b; SCHEEL-YBERT & DIAS, 2007; BIANCHINI *et al.*, 2007; SCHEEL-YBERT *et al.*, 2009). Estes estudos demonstraram que os sambaquieiros eram habitantes da restinga, geralmente se estabelecendo nas proximidades de outras formações vegetais, principalmente o mangue e as florestas costeiras, e que o ambiente de restinga tem ocupado os cordões arenosos litorâneos durante todo o Holoceno recente. Algumas variações climáticas foram registradas, as quais afetaram especialmente a vegetação de manguezal, mas estas não implicaram em modificações significativas da paisagem (SCHEEL-YBERT, 2000). A abordagem paleoetnobotânica mostrou que a lenha utilizada por estas populações provinha essencialmente da coleta aleatória de madeira morta e contribuiu com informações sobre os recursos do meio, áreas de captação de recursos, economia do combustível, práticas rituais e dieta, esta última podendo ser abordada graças à presença de restos de tubérculos, frutos e sementes carbonizados (SCHEEL-YBERT, 2000, 2001a, 2001b, 2003a; SCHEEL-YBERT & DIAS, 2007; BIANCHINI, 2007). Estes dados, combinados com análises arqueológicas, bioantropológicas e líticas, subsidiaram a hipótese de que um cultivo incipiente, quiçá horticultura, poderia ter sido praticado por estas populações (SCHEEL-YBERT *et al.*, 2003).

Estudos recentes realizados em área de mata atlântica no estado do Rio de Janeiro mostraram a permanência dessa floresta nos últimos 3000 anos, além

de fornecer importantes informações sobre a antiguidade da ocupação e o ritual funerário de grupos Tupiguarani (BEAUCLAIR *et al.*, 2009).

No estado de São Paulo, análises antracológicas associadas a análises de composição isotópica dos solos ($\delta^{13}\text{C}$) em várias localidades (Piracicaba, Jaguariúna, Botucatu, Anhembi e Pirassununga) permitiram demonstrar que o clima da região era mais seco há cerca de 12 mil anos e em seguida mais úmido, semelhante ao atual, a partir de 3000 anos antes do presente (SCHEEL-YBERT *et al.*, 2003).

Os estudos relacionados à caracterização anatômica de carvões foram iniciados a partir da necessidade de se descrever amostras carbonizadas do lenho, pois as análises antracológicas são facilitadas através da comparação entre materiais do mesmo tipo, ou seja, entre materiais carbonizados (SCHEEL-YBERT *et al.* 2006). Estes estudos têm por principal objetivo subsidiar a identificação de espécies, seja no quadro de análises paleoambientais/paleoetnobotânicas, seja na determinação de espécies atuais (fiscalização, incêndios, entre outras). No Brasil, estes estudos foram iniciados com a descrição das amostras depositadas na antracoteca (coleção de referência) do Laboratório de Paleoecologia Vegetal do Museu Nacional, UFRJ (LAPAV). Esta coleção começou a ser constituída no ano de 1994, sendo formada por mais de 2.000 amostras provenientes tanto de coleta de campo quanto de doações de xilotecas (Jardim Botânico do Rio de Janeiro – RBw; Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – BCTw; Instituto de Botânica de São Paulo – SPw; Instituto Florestal de São Paulo – SPSFw; Centre Technique Forestier Tropical– CTFw), abrangendo vários biomas brasileiros – principalmente mata atlântica, restinga, floresta semidecídua, cerrado e mangue, mas também algumas amostras da vegetação amazônica e do sul do país. Devido ao seu tamanho e abrangência, a antracoteca se tornou uma valiosa ferramenta de apoio para estudos antracológicos em todo o país. As descrições anatômicas de carvões por espécies foram iniciadas com um estudo sobre as famílias Anacardiaceae, Annonaceae, Aquifoliaceae, Apocynaceae e Araliaceae (GONÇALVES, 2006), no qual foram analisados carvões de espécies provenientes de vários biomas brasileiros. Também foram realizados estudos com outras famílias, como: Asteraceae (GONÇALVES & SCHEEL-YBERT, 2006); Boraginaceae (MOURA *et al.*, 2006); Bignoniaceae (HAN *et al.*, 2007); Burseraceae, Cactaceae e Capparaceae (RANGEL & SCHEEL-YBERT, 2008); Euphorbiaceae (COELHO & SCHEEL-YBERT, 2009); e com espécies selecionadas por sua importância ambiental e econômica, como algumas espécies do cerrado que foram analisadas por Gonçalves *et al.* (2008).

2.2. Carvão vegetal no Brasil

Algumas décadas após a chegada dos colonizadores europeus ao Brasil, a atividade metalúrgica era exercida por pequenos grupos de portugueses, a matéria-prima era importada e rara, os engenhos de açúcar tinham na madeira seu principal material de construção, e os metais só entravam nas operações absolutamente imprescindíveis, como na fabricação de tachos de cobre, machados, enxadas e foices de ferro (LADGRAF *et al.*, 2004; BARCELLOS & COUTO, 2006). Somente a partir de 1580, com a união das Coroas portuguesa e espanhola, é que a metalurgia extrativa e a indústria do ferro foram inauguradas em São Paulo, iniciando-se a produção de aço no país (MATARELLI *et al.*, 2001; LADGRAF *et al.*, 2004). Com a revolução industrial e o advento da máquina a vapor, houve uma grande demanda por carvão vegetal para gerar energia e alimentar a indústria siderúrgica. Nessa época a estrutura viária do Brasil não permitia o emprego do carvão mineral, importado ou produzido internamente. Desta forma, o uso de carvão vegetal na siderurgia brasileira, de fácil produção e baixo custo, estava intimamente relacionado ao processo de industrialização do país e ainda permitia a obtenção de um produto de melhor qualidade ao ser comparado com o obtido com o uso de carvão mineral (BYRNE & NAGLE, 1997; FERREIRA, 2000; LADGRAF *et al.*, 2004; PRADO, 2004; DUBOC *et al.*, 2007).

Atualmente, a importância econômica do carvão vegetal é cada vez mais significativa. No ano de 2005, atividades relacionadas à sua produção e comercialização movimentaram 0,5% do PIB nacional, equivalendo a cerca de 4 bilhões de dólares (BRITO, 2008). De acordo com o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2009), os principais setores de consumo para o ano de 2008 foram: (i) Industrial (90%) – principalmente para as empresas produtoras de ferro-gusa e aço, seguidas das produtoras de ferro-ligas, cimento, entre outros; (ii) Residencial (9%); (iii) Comercial (1%) – representado por pizzarias, padarias e churrascarias. Conforme o anuário estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2009), em 2008 obteve-se a estimativa de 5.709.113 empregos diretos, indiretos e efeito-renda devido à associação do setor florestal (florestas plantadas e nativas) com o segmento da siderurgia a carvão vegetal.

Do ponto de vista social, há duas realidades muito distintas na cadeia produtiva de carvão vegetal (DIAS *et al.* 2002): de um lado, as siderúrgicas certificadas segundo as normas internacionais; de outro, a precariedade das carvoarias

artesanais empregando tecnologia rudimentar, com utilização intensiva e predatória dos recursos florestais, assim como exploração do trabalho em condições subumanas e escravas, incluindo crianças e adolescentes. Contudo, a quantidade de escravos contemporâneos envolvidos na produção de carvão vegetal tem se reduzido devido à crítica social, conscientização da sociedade, iniciativas governamentais e não-governamentais (INSTITUTO OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2004; CARNEIRO, 2008; MTE, 2010; OIT, 2010; REPÓRTER BRASIL, 2010). De acordo com o Instituto Observatório Social (2004), o trabalho escravo por atividade econômica tem sua maior parte na pecuária (43%), seguido pelo desmatamento (28%), agricultura (24%), madeiras (4%) e, por fim, carvoarias (1%).

Na parte ambiental, mesmo havendo um aumento significativo do uso de madeira de espécies de reflorestamento para a obtenção de carvão vegetal no país, grande parte ainda é proveniente de florestas nativas e de derrubadas ilegais, podendo ser explicado, em parte, pela falta de fiscalização, além da preferência de várias empresas em aumentar seu lucro pagando o menor preço possível no carvão vegetal sem se preocupar com a sua procedência (MONTEIRO, 2006; SAKAMOTO, 2007; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2009). A relação entre a oferta e o preço pode ser evidenciada pelo valor da tonelada de carvão produzido da extração vegetal e da silvicultura, R\$ 390,00 e R\$ 510,00, respectivamente (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008). Isto é refletido nos biomas nativos, onde se avalia que cerca de 50% do carvão produzido no país seja proveniente de florestas nativas e, embora haja iniciativas sustentáveis como a do estado de Minas Gerais, que aumentou em 55% o uso de carvão vegetal de florestas plantadas, há também o caso do pólo de Carajás (MA e PA) e do Mato Grosso do Sul, que tiveram 95% de carvão oriundo de florestas nativas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2009). Em relação ao total de carvão vegetal produzido no Brasil, em 2005, aproximadamente 34,5% da produção foi proveniente da vegetação do cerrado, correspondendo a aproximadamente 1,9 milhões de toneladas de carvão (DUBOC *et al.*, 2007).

2.3. Carbonização e mudanças estruturais no lenho

A formação do carvão pode ocorrer tanto com o aquecimento do lenho num ambiente limitado de oxigênio quanto na sua ausência, da seguinte maneira (BRAADBART & POOLE, 2008): (i) em presença de oxigênio ocorre o processo de queima, no qual as substâncias voláteis liberadas pelo aquecimento se inflamam, produzindo chamas; o processo de combustão pode prosseguir até a formação de cinzas, contudo, se a combustão for incompleta haverá produção de carvão; (ii) em ausência de oxigênio, as substâncias voláteis também serão liberadas pelo aquecimento, contudo não haverá formação de chamas, e o processo de carbonização resulta diretamente na formação de carvão.

Durante a carbonização, as hemiceluloses degradam entre 170–300°C, a celulose acima de 240°C e a lignina acima de 280°C (BEALL & EICKNER, 1970; FENGEL & WEGENER, 1989; ZERIOUH & BELKBIR, 1995; BYRNE & NAGLE, 1997). Entretanto, a decomposição do lenho não é evidente até a temperatura atingir cerca de 275°C (KOLLMANN & SACHS, 1967) e a carbonização do lenho não pode ser constatada abaixo de 300°C (KWON *et al.*, 2009). O lenho, submetido à carbonização, sofre alterações diversas: (i) coloração – escurecimento do lenho, que ao final do processo se torna negro; (ii) propriedades físicas – consideráveis perdas de massa, contração, possíveis distorções anatômicas resultantes da carbonização e perda de muitas substâncias voláteis; (iii) propriedades químicas – conversões contínuas e graduais dos três principais componentes químicos do lenho (celulose, hemicelulose e lignina), formando um produto novo, rico em carbono e quimicamente distinto (SHAFIZADEH, 1982; BOON *et al.*, 1994; BRAADBART & POOLE 2008).

Diversos trabalhos avaliaram as modificações estruturais do carvão obtido a diferentes temperaturas, seja através de uma abordagem tecnológica (KOLLMANN & SACHS, 1967; MCGINNES *et al.*, 1971; BEALL *et al.*, 1974; SLOCUM *et al.*, 1978; KIM & HANNA, 2006; KWON *et al.*, 2009), seja em razão de uma problemática arqueológica e/ou paleoambiental (PRIOR & ALVIN, 1983; PRIOR & GASSON, 1993; BRAADBART & POOLE, 2008).

Kollmann & Sachs (1967) analisaram o efeito de temperaturas elevadas em células do lenho de *Fagus sylvatica* L., *F. grandifolia* Ehrh. e *Picea abies* (L.) Karst., embora para isso tenham utilizado amostras submetidas a tratamentos distintos. Amostras de *F. sylvatica* foram expostas a temperaturas de 190-200-210-220-

240°C por duas horas e meia num ambiente com balanço termogravimétrico e na ausência de ar. Amostras de *F. grandifolia* e *P. abies*, por sua vez, foram queimadas por tempo indeterminado com o auxílio de um bico de Bunsen e as células abaixo da camada carbonizada foram analisadas; os autores avaliaram que a temperatura interna destas amostras atingiu aproximadamente 280°C, contudo, não explicaram como foi determinado este valor. Os autores observaram para *Fagus* spp., nos dois tratamentos, uma distorção da superfície das pontoações dos vasos que foi atribuído ao aquecimento e liberação de substâncias voláteis ou gases provenientes da decomposição dos constituintes químicos do lenho. Em *P. abies*, as temperaturas elevadas causaram um amolecimento das microfibrilas do margo e conseqüentemente as membranas perderam sua aparência lisa, assim como o tórus. Nas amostras de *F. sylvatica* tratadas a 190-240°C houve mudança na estrutura da camada verrucosa, sendo que a 200°C as verrugas mudaram de formato, aparentemente como ocorre na secagem, e a 240°C elas perderam sua aparência original e pareceram colapsadas.

McGinnes *et al.* (1971), visando avaliar a qualidade do carvão de *Quercus alba* L., analisaram amostras carbonizadas em forno do tipo Missouri² a temperaturas de aproximadamente 270 a 400°C, dependendo do local dentro do forno. Os resultados mostraram: (i) perda de massa de 34,5 a 41,5%; (ii) contração de 25,65%, 15,45%, 11,43%, nos sentidos tangencial, radial e longitudinal, respectivamente; (iii) alteração nas camadas da parede celular, resultando numa aparência homogênea e amorfa. Estes resultados são, de acordo com os próprios autores, complementares aos obtidos por Kollmann & Sachs (1967), e permitiram algumas especulações sobre a seqüência de modificações anatômicas durante a carbonização: (i) alteração preferencial das estruturas semelhantes à lignina; (ii) destruição do ângulo microfibrilar; (iii) degradação da celulose e das hemiceluloses; (iv) rearranjo do carbono numa estrutura próxima à grafite quando a temperatura de carbonização atinge seu máximo, sendo este o momento de maior contração.

Beall *et al.* (1974), com o objetivo de esclarecer o impacto da temperatura e a transferência de massa durante a degradação térmica, analisaram amostras das espécies *Liriodendron tulipifera* L., *Betula* sp., *Pinus taeda* L. e *Quercus* sp. Amostras de *L. tulipifera* foram carbonizadas a 200-400-600°C durante

² Este tipo de forno, o mais utilizado nos Estados Unidos na época em que o trabalho foi desenvolvido, é um forno de produção de carvão vegetal do tipo batelada, ou seja, recebe um carregamento de madeira por vez.

duas horas, apresentando 67% de perda de massa entre 200-400°C e 80% da perda a 600°C. A contração a 400°C foi de 31,3%, 26,4% e 13,3% nos sentidos tangencial, radial e longitudinal, respectivamente. *P. taeda* e *Quercus* sp carbonizadas a 600°C apresentaram uma distorção das células que estavam próximas ao canal resinífero e ocorreu rompimento das tiloses, respectivamente. No entanto, os autores comentaram que a carbonização não promoveu grandes distorções em relação à anatomia. Amostras de *Betula* sp. foram submetidas a temperaturas entre 200-1.000°C para se avaliar a resistividade e, conseqüentemente, a necessidade de metalizar ou não o material para a observação em microscopia eletrônica de varredura. Os autores concluíram que a carbonização a partir de 400°C aumentou a condutividade elétrica (resistividade), contudo, somente entre 900 e 1.000°C ocorreu o limite de resistividade, o que permitiu a análise direta em microscopia eletrônica de varredura sem a necessidade de metalização.

Slocum *et al.* (1978) estudaram perda de massa, contração e densidade do carvão de *Quercus alba* L. e *Carya ovata* Mill., visando especificar um cronograma adequado de carbonização (tempo *versus* temperatura) em fornos do tipo batelada. As temperaturas de carbonização foram 250-300-400-600-800°C. A perda de massa e a contração foram maiores em *C. ovata* do que em *Q. alba*, sendo que cerca de 80% de perda de massa ocorreu a 400°C e que acima de 400°C houve pouca perda de massa e contração em ambas as espécies. Os autores avaliaram que o progresso da contração pode estar mais relacionado às diferenças na estrutura anatômica e na composição química do que à perda de massa, sugerindo, por exemplo, que a presença de maior quantidade de lignina e os raios largos em *Q. alba* podem influenciar mais o padrão de contração durante a carbonização do que a perda de massa. Contudo, os autores não exploraram a análise anatômica das espécies.

Kim & Hanna (2006) investigaram os efeitos da temperatura de carbonização na estrutura do carvão de *Quercus variabilis* BL., considerando a importância desta espécie na Coreia para a produção comercial de carvão. Os carvões foram preparados num forno elétrico sob atmosfera de gás nitrogênio a 400-600-800°C, atingindo as temperaturas finais em 15 minutos, mantidos a estas temperaturas por 10 minutos, e por fim resfriados em 10 minutos. A análise foi efetuada em microscópio eletrônico de varredura e revelou rupturas, ao longo dos raios largos, que foram mais evidentes nas temperaturas mais elevadas. Tais rupturas, referidas como “honeycomb” (favo de mel) e “disruptions” (rupturas), são largamente conhecidas entre os antracólogos como “fendas de retração” (THÉRY-PARISOT, 2001). A perda de massa

foi de 74,4% a 400°C, mas obteve-se boa qualidade do carvão, onde as características originais dos vasos do lenho parecem ter sido mantidas, as paredes permaneceram intactas e as tiloses continuaram evidentes. No carvão obtido a 800 e 1.000°C ocorreram várias fendas de retração na parede celular dos vasos e as tiloses se mostraram desintegradas. Os raios variaram de acordo com a sua natureza: (i) os raios unisseriados mantiveram relativamente suas características morfológicas, suas células apresentaram pouca separação entre si e os componentes celulares também continuaram visíveis; (ii) os raios multisseriados sofreram desintegração das paredes celulares com a presença de fendas de retração que acompanharam o aumento da temperatura, os conteúdos celulares continuaram evidentes a 400°C, mas foram ausentes acima de 800°C. O parênquima axial perdeu seu conteúdo celular acima de 400°C, aumentou a contração com o aumento da temperatura e apresentou pequenas protuberâncias nas regiões das pontoações. A presença de cristais foi reportada em todas as temperaturas, sendo que a 800 e 1.000°C estes exibiram uma aparência esponjosa. A contração anisotrópica também seguiu o mesmo padrão comentado previamente, maior no sentido tangencial, seguido pelo radial e longitudinal. O aumento da temperatura resultou na homogeneização das camadas da parede celular nas fibras, redução da espessura da parede celular e rompimentos entre a interface raio e fibra.

Kwon *et al.* (2009) analisaram as alterações estruturais na parede celular durante a carbonização desta mesma espécie, *Q. variabilis*, incluindo a quantificação da perda de massa e do diâmetro dos vasos do lenho inicial para auxiliar no entendimento deste processo. A carbonização foi efetuada em forno elétrico sob atmosfera de nitrogênio, a partir da temperatura ambiente até as temperaturas finais de 250-300-350-400-450-500°C, com a mesma metodologia utilizada por Kim & Hanna (2006). Foram encontrados resultados idênticos ao trabalho anterior, entretanto, a contração dos vasos no sentido tangencial foi aproximadamente 7,6 vezes maior do que no sentido radial. Segundo os autores, na direção radial os raios seriam restritivos à contração dos vasos. A observação através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostrou que os limites entre as camadas da parede celular das fibras e do parênquima se mantiveram abaixo de 300°C. A análise em MEV foi complementar à de difração de raios X, o que confirmou que a substância cristalina da celulose permaneceu a 300°C. A partir de 350°C, no entanto, ela não foi mais detectada, concluindo que a transição do lenho para carvão nesta espécie ocorreu em torno de 350°C.

Prior & Alvin (1983) analisaram a anatomia do lenho e do carvão de amostras de *Dichrosrachys cinerea* (L.) Wight & Arn. subsp. *africana* Brenan & Brummitt var. *africana* e *Salix subserrata* Willd nativas da Suazilândia (SE da África). Este trabalho se justificou pela comparação entre os carvões abundantes de um sítio arqueológico local e carvões de coleção de referência, onde foram observadas determinadas características que poderiam ser artefatos da carbonização, assim, os autores tiveram como objetivo compreender tais características. Os carvões foram obtidos a 300-400-500-600-700°C. Como resultado, os autores avaliaram que as fibras foram as células mais afetadas durante a carbonização. As fibras “normais” (não gelatinosas) responderam mais rápido ao calor, apresentando maior contração após carbonização, sendo esta relação mais evidente nas fibras mais espessas. As fibras gelatinosas, que possuem ângulo microfibrilar menor e muita água em suas paredes, responderam menos à carbonização, apresentando uma contração de suas camadas internas, as quais foram separadas distintamente das camadas externas. Não foram observadas modificações significativas nas células do parênquima axial, as quais se mantiveram distintas até mesmo em temperaturas elevadas. Os raios carbonizados a 300°C foram pouco alterados na sua aparência, todavia, pequenos espaços intercelulares apareceram a temperaturas mais elevadas. Em *D. cinerea* foi observada uma tendência ao rompimento e distensão dos raios a 700°C, sendo que grandes cavidades foram observadas com frequência a 800°C. Em *S. subserrata* ocorreram espaços intercelulares entre as células procumbentes do raio no plano de corte radial. Os vasos sofreram poucas modificações. Os cristais, provavelmente de oxalato de cálcio, persistiram com a elevação da temperatura acima de 700°C, mas a partir de 800°C houve poucos remanescentes, com aparência esponjosa. Estes autores não avaliaram dados quantitativos da anatomia das espécies, mas as avaliações qualitativas confirmaram que várias modificações ocorrem como resultado do processo de carbonização, como a contração da camada interna das fibras gelatinosas, presença de espaços intercelulares e aparência esponjosa dos cristais.

Prior & Gasson (1993) também analisaram as modificações da anatomia entre lenho e carvão. Este trabalho foi justificado pelo aumento de trabalhos antracológicos direcionados para paleoecologia e paleoetnobotânica. Os autores analisaram amostras de seis espécies africanas: *Combretum zeyheri*, *Terminalia sericeae*, *Acacia tortilis*, *Lonchocarpus capassa*, *Ziziphus mucronata* e *Sclerocarya caffra*. As carbonizações foram realizadas a 400 e 700°C por 30 minutos, temperaturas

consideradas representativas da menor e da maior taxa de temperatura de incêndios a céu aberto (300-800°C). A perda de massa a 400°C ficou entre 47 e 60% para todas as espécies analisadas. Os vasos foram mensurados com base na estrutura do lenho das espécies, ou seja, em lenhos com abundância de vasos mediu-se maior quantidade; 9 a 65 vasos foram medidos de acordo com a espécie. A redução no diâmetro tangencial dos vasos foi significativa nas espécies *C. zeyheri*, *Z. mucronata* e *S. caffra*, mas não houve redução nos vasos de *A. tortilis*, *L. capassa* e *T. sericeae*. Os autores avaliaram que a baixa frequência de vasos medidos em algumas espécies, como *A. tortilis* e *L. capassa*, resultaram em padrões de contração que não foram significativos. Eles atribuíram a variação no padrão de redução do diâmetro tangencial dos vasos, ainda, à pouca compreensão sobre os processos complexos que envolvem a composição anatômica e química do lenho, evidenciada pelo padrão de contração anisotrópica documentado por McGinnes *et al.* (1971), Beall *et al.* (1974) e Slocum *et al.* (1978) – maior no sentido tangencial, seguido pelo radial e longitudinal. A mensuração dos raios também não foi padronizada; os autores mediram 30 raios no lenho e 15 raios no carvão. Apesar disso, foi identificada uma redução significativa na altura dos raios da maioria das espécies; em relação à largura, os raios homocelulares multisseriados contraíram menos do que os raios unisseriados. A contração na largura das células do raio foi nitidamente menor em *C. zeyheri*, o que foi explicado pelo fato de que fibras de paredes espessas adjacentes às células radiais restringiriam as modificações na largura dos raios, principalmente quando os raios são estreitos. A maioria das espécies apresentou formação de espaços intercelulares, o que foi atribuído à distorção nas células dos raios devido às temperaturas elevadas. As células do parênquima axial sofreram expansão em todas as espécies, mais acentuada em *T. sericeae*; tal expansão, contudo, foi descrita apenas qualitativamente. As fibras não gelatinosas se contraíram mais que as gelatinosas, da mesma forma que relatado por Prior & Alvin (1983), mas estas alterações tampouco foram quantificadas.

Braadbart & Poole (2008) analisaram modificações morfológicas (anatomia, grau de contração), físicas (refletância) e químicas (elementos, composição molecular) do lenho carbonizado de *Pinus silvestris* e *Quercus robur* e utilizaram como material suplementar, para comparação, amostras de *Taxus baccata*, *Betula pendula*, *Carpinus betulus* e *Juglans regia*. Foram realizadas carbonizações a temperaturas finais pré-selecionadas de 160-220-250-280-310-320-340-370-400-440-500-600-650-700-800-900-1000-1100-1200°C. *P. silvestris* e *Q. robur* apresentaram

perda de massa inicial rápida, com aproximadamente 60% da massa sendo perdida a temperaturas de 220 a 310°C. Acima de 310°C o processo continua, e a 1.200°C a perda de massa atingida foi de 75-85%. A perda de massa de *Q. robur* foi maior entre 160 e 350°C, enquanto em *P. silvestris* ela foi maior acima de 350°C. Entre 310 e 370°C as características das amostras passaram a se assemelhar às do carvão – em particular, os raios multisseriados de *Q. robur* apareceram rompidos, ao contrário dos raios unisseriados de *P. silvestris*; a partir de 600°C foram observadas distorções na anatomia das amostras em ambas as espécies; a 900°C o carvão aumentou sua friabilidade e se fragmentou facilmente; a 1.000°C as células se apresentaram deformadas; a 1.200°C as células passaram a ser indistintas.

Uma síntese de todos os trabalhos apresentados permite dizer que: (i) houve grande variação em relação à perda de massa por influência principalmente da temperatura, mas também da espécie e da metodologia utilizada para a carbonização; (ii) a contração ocorreu sempre de forma anisotrópica, sendo em maior magnitude no sentido tangencial, intermediária no radial e menor no longitudinal; (iii) as paredes celulares das fibras, após carbonização, apresentaram camadas indistintas, adquirindo uma aparência homogênea e amorfa; (iv) os vasos podem ou não apresentar alterações na sua estrutura, assim como deformações e rompimentos nas membranas das pontuações e nas tiloses; (v) as fibras foram as estruturas que mais se alteraram durante a carbonização, variando entre as que se contraem mais (as não gelatinosas), e as que se contraem menos (as gelatinosas); (vi) o parênquima axial apresentou poucas modificações, permanecendo bem distinto principalmente na seção transversal, podendo ou não manter seu conteúdo, mas aumentando a contração e a separação de suas células com o aumento da temperatura; (vii) os raios variaram de acordo com a sua natureza, mantendo suas características morfológicas iniciais ou apresentando espaços intercelulares; (viii) os cristais persistiram até 700°C, mas a partir de 800°C apresentaram aparência esponjosa. De uma forma geral, a carbonização a 400°C resultou na manutenção de caracteres morfo-anatômicos semelhantes ao lenho, com as superfícies do carvão apresentando estruturas bem distintas.

3. JUSTIFICATIVA

O presente estudo visa contribuir para um melhor entendimento do efeito da carbonização no lenho de espécies do cerrado através da análise estrutural da anatomia antes e após carbonização a 400°C, buscando identificar possíveis modificações morfométricas. Seu principal objetivo é subsidiar os estudos antracológicos no Brasil, auxiliando na identificação de carvões no país, mas visa também contribuir para uma melhor compreensão das modificações estruturais da anatomia do lenho submetido ao processo de carbonização.

Ao passo que há um progressivo desenvolvimento da Antracologia no país, torna-se premente a necessidade de estudos mais acurados sobre as modificações decorrentes da carbonização em espécies nativas. Assim sendo, a importância do presente estudo é amplificada pelo aumento de abrangência das análises antracológicas no país.

Ainda que alguns trabalhos com a descrição antracológica de espécies nativas tenham sido previamente desenvolvidos (e.g. GONÇALVES, 2006), identificando certas tendências de modificações estruturais que poderiam ter ocorrido devido ao processo de carbonização, todos os estudos anteriores foram feitos com base na comparação de indivíduos diferentes. Por esta razão, a comprovação desta hipótese ainda dependia de análises da mesma amostra antes e após a carbonização, buscando verificação das possíveis variações morfométricas. Ao fazer isto, o presente trabalho

visa facilitar a identificação de carvões e aumentar a compreensão de todos os processos que envolvem essa atividade.

O atual direcionamento das análises antracológicas para a fiscalização de carvão vegetal aporta ao presente trabalho um aspecto particularmente relevante. Esta nova aplicação se reveste de um importante caráter conservacionista, pois o país é o maior produtor mundial de carvão vegetal e grande parte ainda é produzida através da extração ilegal de florestas nativas, especialmente do cerrado.

Desse modo, os resultados aqui apresentados visam não somente subsidiar reconstituições paleoambientais e paleoetnobotânicas, mas também, e principalmente, auxiliar no levantamento e controle de espécies carbonizadas, sejam elas provenientes da comercialização ilegal de carvão ou de incêndios.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Estudar a anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas que ocorrem em áreas de cerrado do estado de São Paulo, testando a hipótese de que a carbonização altere anatomicamente os carvões destas espécies.

4.2. Objetivos Específicos

- Descrever as características anatômicas do lenho e do carvão de espécies arbóreas da flora nativa do Brasil, em particular espécies de grande representatividade no cerrado paulista;
- Identificar possíveis variações morfométricas na estrutura anatômica do lenho carbonizado das espécies selecionadas, as quais apresentam padrões de organização distintos das células do lenho;
- Contribuir para o conhecimento de espécies da flora do cerrado;
- Contribuir com descrições anatômicas do lenho e do carvão para o banco de dados do Laboratório de Anatomia da Madeira da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da UNESP;

- Contribuir com descrições anatômicas do lenho e do carvão para o banco de dados do programa de determinação antracológico *Atlas Brasil* (SCHEEL-YBERT *et al.*, 2002), do Laboratório de Paleoecologia Vegetal do Museu Nacional (UFRJ);
- Fornecer subsídios para a identificação de lenhos carbonizados;
- Fornecer subsídios para estudos paleoecológicos e paleoetnobotânicos baseados em análises antracológicas;
- Fornecer subsídios para a fiscalização da produção de carvão vegetal.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho portou sobre a análise de dez espécies da flora do cerrado paulista, sendo analisados três indivíduos de cada uma delas: 1. *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae-Caesalpinioideae); 2. *Dalbergia violacea* (Jacq.) Hoffmanns. (Fabaceae-Faboideae); 3. *Dimorphandra mollis* Benth. (Fabaceae-Mimosoideae); 4. *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. (Fabaceae-Mimosoideae); 5. *Caryocar brasiliense* Cambess. (Caryocaraceae); 6. *Couepia grandiflora* (Mart. & Zucc.) Benth & Hook. f. (Chrysobalanaceae); 7. *Tapirira guianensis* Aubl. (Anacardiaceae); 8. *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae); 9. *Vochysia tucanorum* Mart. (Vochysiaceae); 10. *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae).

Todos os espécimes foram coletados numa reserva particular de cerrado *sensu lato* com cerca de 180 ha localizada na Fazenda “Palmeira da Serra”, município de Pratânia (23°02’55,5” S e 48°31’26,1” W).

Este conjunto de espécies foi selecionado principalmente por apresentar características anatômicas variadas (como tamanho dos vasos, tipo de parênquima, seriação dos raios, parede celular das fibras, presença de elementos secretores, entre outras) (METCALFE, 1950), as quais potencialmente poderiam ser afetadas diferencialmente pela carbonização (PRIOR & GASSON, 1993), mas também por serem espécies abundantes na região (OLIVEIRA, 2006). Algumas delas são conhecidas por serem boas produtoras de energia, apresentando elevado poder calorífico, como *Caryocar brasiliensis*, *Copaifera langsdorffii*, *Dalbergia violaceae*,

Dimorphandra mollis, *Pouteria torta* e *Qualea grandiflora* (VALE *et al.*, 2002; FONSECA *et al.*, 2005); e outras são pertencentes ao mesmo gênero de espécies ameaçadas de extinção ou com deficiência de dados, como *Couepia*, *Dalbergia*, *Dimorphandra* e *Pouteria* (MMA, 2008). De acordo com o Sistema APG III (THE LINNEAN SOCIETY OF LONDON, 2009) (

Figura 1), as espécies estão distribuídas em três clados e cinco ordens: (i) clado Fabídeas – ordem Fabales (*C. langsdorffii*, *D. violacea*, *D. mollis* e *S. polyphyllum*) e ordem Malpighiales (*C. brasiliense* e *C. grandiflora*); (ii) clado Malvídeas (Malvids) – ordem Sapindales (*T. guianensis*) e ordem Myrtales (*Q. grandiflora* e *V. tucanorum*); (iii) clado Asterídeas (Asterids) – ordem Ericales (*P. torta*).

Foram escolhidos três indivíduos para cada espécie, de cada indivíduo foi coletado o ramo mais desenvolvido da copa e discos de aproximadamente 3 cm de espessura foram obtidos da porção basal destes ramos. As análises foram conduzidas em ramos caulinares por restrições ao uso de métodos destrutivos em áreas de reserva. Amostras das partes vegetativas e reprodutivas das plantas foram coletadas para a confirmação taxonômica das espécies e exsicatas foram preparadas e depositadas no Herbário “Irina Delanova de Gemtchujnicov” (BOTU) do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências (IB) da UNESP, campus de Botucatu. As amostras coletadas do lenho foram armazenadas em álcool 70% e glicerina e registradas na Xiloteca “Maria Aparecida Mourão Brasil” (BOTw) da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da UNESP, Campus de Botucatu. Os três indivíduos identificados por “RBII” correspondem a coletas que foram realizadas no Rio Bonito em Botucatu, devido à indisponibilidade de encontrá-los na Fazenda “Palmeira da Serra”. De cada amostra, foram selecionados dois fragmentos de lenho contíguos uns aos outros, um sendo destinado à confecção de lâminas e o outro para ser carbonizado. A relação dos indivíduos analisados com seus respectivos números de xiloteca, assim como a fitofisionomia de cerrado aonde eles foram coletados é apresentada na Tabela I.

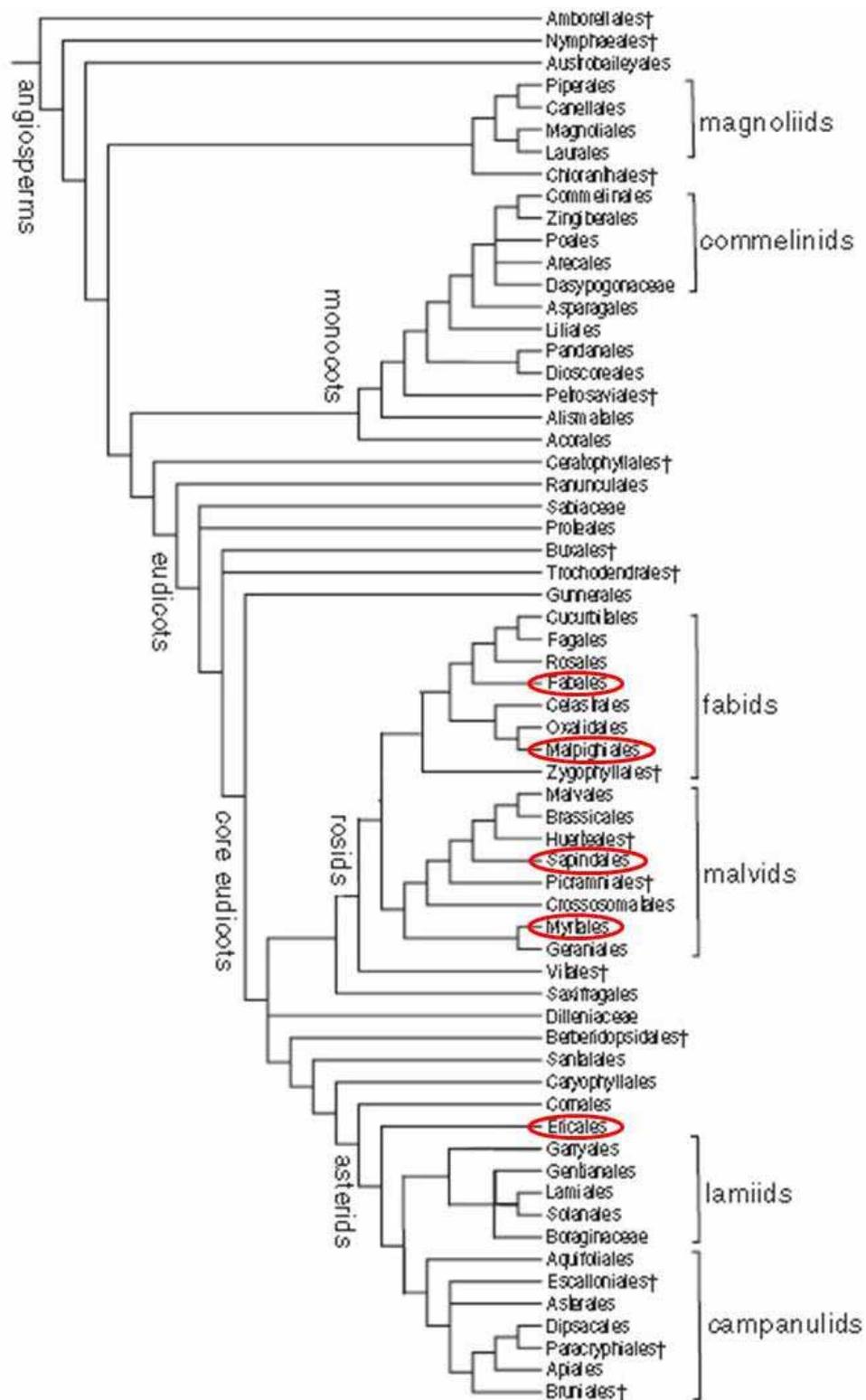


Figura 1. Relação filogenética entre os clados das espécies analisadas, no sistema APG III. Os clados envoltos em vermelho correspondem aos que as espécies estão inseridas. Fonte: The Linnean Society of London (2009).

Tabela I. Relação das espécies e indivíduos analisados, com seus respectivos números de xiloteca e indicação da fitofisionomia de cerrado aonde eles foram coletados.

As amostras referidas como “cerrado” provém do cerrado *sensu stricto*. As amostras referenciadas como “RBII” correspondem a coletas que ainda não foram inseridas na xiloteca.

Espécie	Indiv	nº xiloteca	Fitofisionomia
<i>Copaifera langsdorfii</i>	1	BOTw 1330	Cerrado
	2	BOTw 1570	Cerrado
	3	BOTw 1571	Cerrado
<i>Dalbergia violaceae</i>	1	BOTw 1991	Cerradão
	2	BOTw 1992	Cerradão
	3	BOTw 1993	Cerradão
<i>Dimorphandra mollis</i>	1	BOTw 1351	Cerrado
	2	BOTw 1517	Cerrado
	3	BOTw 2043	Cerrado
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	1	BOTw 1352	Cerrado
	2	BOTw 1537	Cerrado
	3	RBII	Cerrado
<i>Caryocar brasiliense</i>	1	BOTw 1331	Cerrado
	2	BOTw 1567	Cerrado
	3	BOTw 1650	Cerrado
<i>Couepia grandiflora</i>	1	BOTw 1332	Cerrado
	2	BOTw 1559	Cerrado
	3	BOTw 2034	Cerrado
<i>Tapirira guianensis</i>	1	BOTw 1321	Cerrado
	2	BOTw 1965	Cerrado
	3	RBII	Cerrado
<i>Qualea grandiflora</i>	1	BOTw 1364	Cerrado
	2	BOTw 1395	Cerrado
	3	BOTw 1531	Cerrado
<i>Vochysia tucanorum</i>	1	BOTw 1368	Cerrado
	2	BOTw 2178	Cerrado
	3	RBII	Cerrado
<i>Pouteria torta</i>	1	BOTw 1358	Cerrado
	2	BOTw 2170	Cerrado
	3	BOTw 2171	Cerradão

O preparo das amostras do lenho foi realizado no Laboratório de Anatomia da Madeira da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da UNESP, campus de Botucatu. Cortes de cerca de 15 a 20 µm de espessura foram obtidos a partir das seções transversais e longitudinais (radiais e tangenciais) de cada corpo de prova. Um grupo de cortes foi corado e o outro grupo foi deixado com sua coloração natural.

Os cortes que foram corados passaram por uma solução de hipoclorito de sódio e água destilada, depois foram corados duplamente com safranina aquosa 1% (BUKATSCH, 1972) e azul de astra aquoso 1% (ROESER, 1972). Tanto os cortes corados quanto os naturais foram desidratados em uma série de concentração alcoólica progressiva (30, 50, 70, 90, 95 e 100%), passando ao final por acetato de butila para fixar a coloração. As lâminas histológicas foram montadas permanentemente com meio sintético (Entellan[®]). A dissociação das células seguiu o método de Franklin (1945, modificado por KRAUS & ARDUIM, 1997); o corante safranina 1% aquosa (BUKATSCH, 1972) foi utilizado para a coloração destas células. As lâminas foram analisadas em microscópio de luz transmitida Axioskop 40, marca Zeiss, Câmera Axio Cam MRC e computador com Sistema de Análise de Imagens (programas Axiovision e Axioviewer).

O preparo do material para as análises antracológicas foi realizado no Laboratório de Paleoecologia Vegetal (LAPAV) do Museu Nacional (UFRJ). Para a obtenção dos carvões, os discos de lenho foram envolvidos em papel alumínio, carbonizados em forno mufla a 400°C, durante 40 minutos e na ausência de ar. A temperatura escolhida é a mesma utilizada para carbonização das amostras da antracoteca do LAPAV, assim como de outras coleções de referência internacionais (SCHEEL-YBERT *et al.*, 2006), mas, sobretudo, é também a temperatura média da maioria dos fornos utilizados no país (INFOENER, 2004; PINHEIRO *et al.*, 2005). Grande parte dos experimentos já realizados, visando compreender o processo de carbonização, utilizou esta temperatura (e.g. VELLA *et al.* 1989; SCHEEL-YBERT, 1998; GUIMARÃES NETO, 2005; TRUGILHO *et al.* 2005; ARANTES, 2009). O lenho carbonizado foi fraturado manualmente seguindo os três planos estruturais do lenho. A análise foi realizada em microscopia de luz refletida com campo claro e campo escuro. O uso de contraste interferencial (DIC) foi muito útil para uma melhor visualização dos caracteres anatômicos, em particular detalhes observados em maior aumento, como por exemplo, as características das pontoações. As amostras carbonizadas foram analisadas em microscópio de luz refletida Axioplan, marca Zeiss. Todos os resultados da análise foram integrados ao banco de dados do programa de determinação antracológica “Atlas Brasil” (SCHEEL-YBERT *et al.*, 2002).

As fotos dos carvões foram feitas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) sob a supervisão da Dr.^a Claudia Franca Barros, no Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

As normas de descrição anatômica utilizadas para a análise de carvões são as mesmas recomendadas pelo IAWA Committee (1989) para as análises microscópicas qualitativas e quantitativas de lenho (SCHEEL-YBERT, 2004; SCHEEL-YBERT *et al.*, 2006). As características anatômicas quantitativas analisadas e o número de mensurações realizadas foram: i) diâmetro tangencial dos vasos (μm); ii) frequência de vasos por mm^2 ; iii) diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares (μm); iv) frequência de raios por mm ; v) altura dos raios (μm); e vi) largura dos raios (μm). De acordo com o recomendado pelo IAWA Committee (1989), foram feitas 25 medições para o diâmetro tangencial dos vasos e 10 medições para a frequência de vasos por mm^2 e a frequência de raios por mm . Foram feitas 10 medições também para aferir o diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares, altura e largura dos raios.

Além destas mensurações, foram feitas 30 medidas de todos os parâmetros selecionados para sete indivíduos das espécies *Dalbergia violaceae*, *Dimorphandra mollis*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Caryocar brasiliensis*, *Tapirira guianensis*, *Qualea grandiflora* e *Pouteria torta*, visando avaliar a significância estatística do número de mensurações. Os dados quantitativos foram tabulados no programa EXCEL (Microsoft) para efetuar os cálculos da média e desvio padrão de cada um dos parâmetros apresentados e os resultados submetidos a análises estatísticas conforme descrito abaixo.

Dentre os caracteres anatômicos analisados, apenas a medida da largura das pontoações intervasculares não foi feita de acordo com a recomendação do IAWA Committee (1989). Isto se deve ao fato de que, frequentemente, a carbonização provoca completa homogeneização das paredes celulares dos vasos, não sendo possível observar os limites da câmara de pontoação, caso em que permanece visível somente a abertura da pontoação. Por isso, apenas a abertura das pontoações intervasculares foi medida em todas as amostras, ou seja, o seu diâmetro tangencial interno.

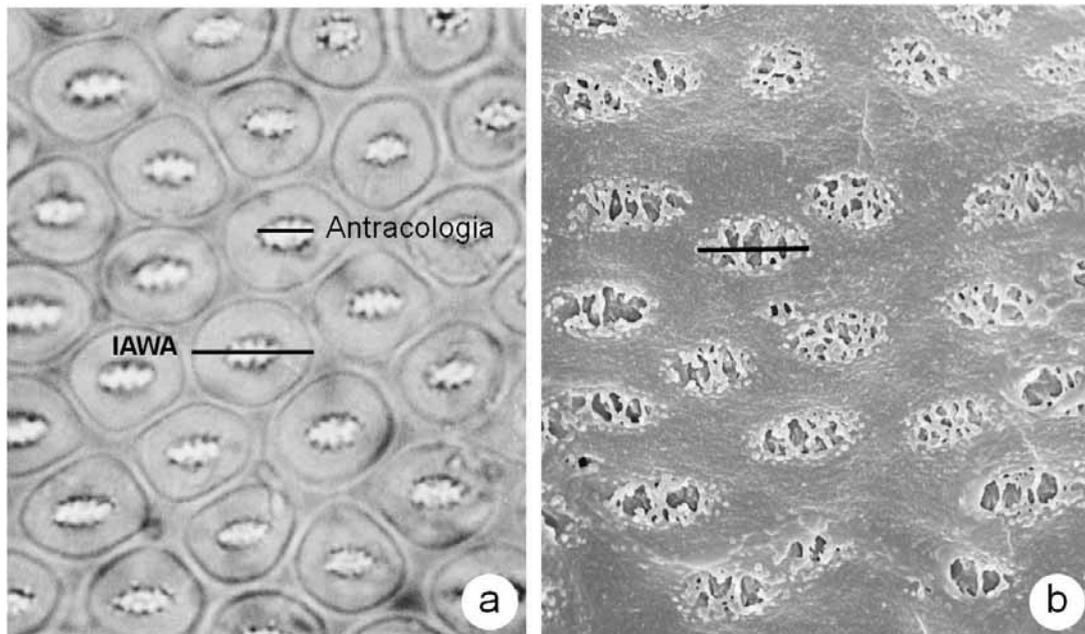


Figura 2. Fotomicrografias das pontoações intervasculares no lenho e no carvão: (a) lenho de *Terminalia* sp (IAWA COMMITTEE, 1989), indicando a mensuração recomendada pela IAWA para o lenho e a realizada pela antracologia; (b) carvão de *Dalbergia violacea* (indivíduo 2), a homogeneização das paredes dos vasos justifica a mensuração da abertura das pontoações intervasculares realizada pela antracologia.

Todos os resultados das mensurações de caracteres anatômicos da madeira e do carvão foram comparados estatisticamente visando identificar variações significativas devidas ao processo de carbonização. As análises estatísticas foram realizadas sob a supervisão da Dr.^a Maria Aparecida Mourão Brasil no Grupo de Apoio à Pesquisa da Faculdade de Medicina de Botucatu (GAP-FMB-FAMESP). Os dados foram analisados usando um “modelo linear generalizado para medidas repetidas” no programa SAS 9.1.3, procedimento estatístico PROC-GENMOT.

No caso do diâmetro dos vasos, diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares, largura dos raios e altura dos raios, que são variáveis contínuas (oriundas de mensurações), foram ajustados lineares generalizados para medidas repetidas assumindo erro normal (nos casos em que a variável passou no teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade) ou gama (no caso em que não passou no teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade), função de ligação log e preditor linear com estrutura fatorial. No caso da frequência de vasos e frequência de raios, que são variáveis discretas (oriundas de contagem), foram ajustados modelos lineares generalizados para medidas repetidas assumindo erro Poisson, função de ligação log e

preditor linear com estrutura fatorial. Além disso, quando necessário, foi feito o Teste LSMeans para comparações múltiplas.

A interpretação das análises estatísticas considerou um nível de significância de 5%. O nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) foi representado por p 1, e o nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie por p 2. Níveis de significância menores que “0.05”, tanto para p 1 para quanto para p 2, indicam que houve variação, ou seja, redução ou aumento dos valores quantitativos. valores acima de “0,05”, por outro lado, indicam ausência de variação significativa.

Os resultados obtidos para cada espécie serão apresentados na seguinte ordem: (i) descrição anatômica qualitativa do lenho e do carvão; (ii) micrografias dos três planos estruturais do lenho e do carvão; (iii) tabela com análise quantitativa e estatística, sendo apresentados para cada grupo de mensurações os valores médios seguidos pelo mínimo e o máximo. Estes resultados serão seguidos por três tabelas com o resumo dos caracteres qualitativos: (i) diâmetro tangencial dos vasos (μm) e frequência de vasos (mm^2); (ii) diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares (μm) e frequência de raios (mm); (iii) largura dos raios (μm) e altura dos raios (μm).

6. RESULTADOS

6.1. Espécies analisadas

Clado Fabídeas (Fabids)

Ordem Fabales

6.1.1. *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae-Caesalpinioideae)

(Figura 3; Tabela II)

Camadas de crescimento: presentes, distintas a olho nu tanto no lenho quanto no carvão, demarcadas por faixas terminais de parênquima axial com canais axiais. – **Vasos:** porosidade difusa; sem arranjo distinto; agrupamento solitários (57%), em múltiplos de 2 (19%), 3 (12%) e múltiplos radiais acima de 4 (12%); placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e guarnecidas, também ocorrem poligonais; pontoações raio-vasculares com aréolas distintas, similares às intervasculares em tamanho e forma. – **Parênquima axial:** em faixas e paratraqueal vasicêntrico; 2-6 células por série. – **Raios:** predominantemente 1-2-seriados e eventualmente 3-seriados nos indivíduos 1 e 2; frequentemente 2-4 seriados no indivíduo 1; com todas as células procumbentes e com o corpo formado por células procumbentes e 1 fileira marginal de células eretas e/ou quadradas; ocorrem alguns raios fusionados. – **Fibras:** com pontoações simples a aréolas reduzidas; parede celular fina a espessa; fibras gelatinosas presentes. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** canais axiais. – **Inclusões minerais:** cristais prismáticos em células subdivididas do parênquima axial e em células dos raios.

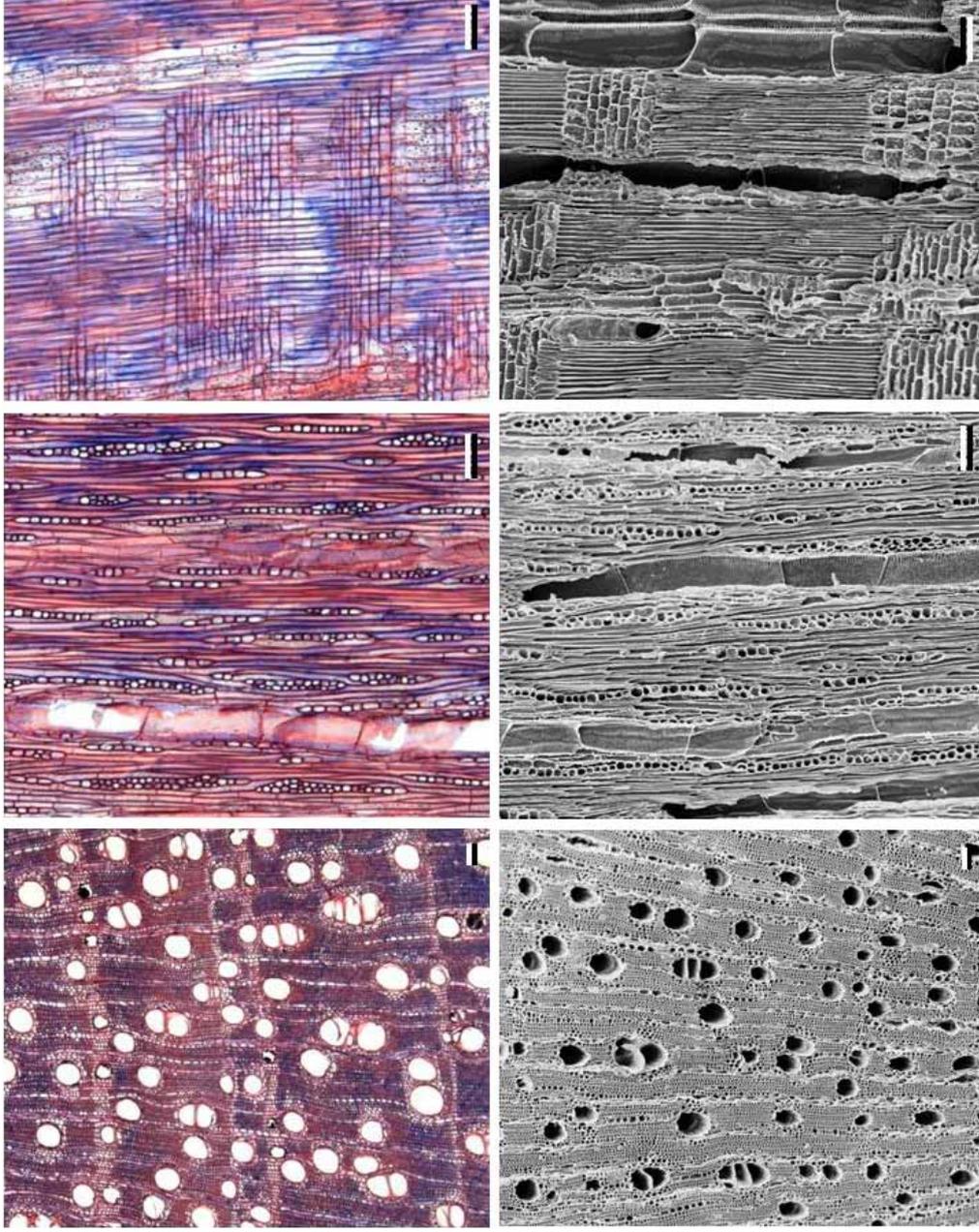


Figura 3. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Copaiifera langsdorffii* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela II. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em *Copaifera langsdorffii* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfológicas.

Indiv	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2
	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP			Vasos/mm ²	DP	Vasos/mm ²	DP		
1	123 (88-162)	18	97 (60-130)	22	<0.0001		9 (4-12)	2	13 (9-16)	2		
2	85 (55-101)	12	81 (60-120)	16	0.2400	<0.0001	16 (12-24)	4	20 (17-25)	3	0.3918	0.0938
3	101 (76-127)	13	92 (70-115)	11	0.0376		17 (20-25)	4	20 (16-25)	3		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	4 (3-6)	1	4 (3-6)	1			6 (5-8)	1	7 (6-10)	1		
2	4 (3-5)	1	4 (3-5)	1	0.3679	0.0833	10 (9-13)	1	11 (9-13)	1	0.0595	0.8266
3	5 (4-6)	1	5 (4-5)	1			10 (8-11)	1	8 (7-9)	1		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2
1	61 (49-76)	9	65 (40-75)	10			373 (263-480)	72	391 (225-550)	90		
2	27 (22-36)	4	32 (25-40)	5	0.6922	0.0147	297 (151-446)	102	268 (145-390)	83	0.6300	0.5269
3	30 (22-45)	7	34 (25-40)	6			360 (216-514)	105	336 (245-440)	64		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

6.1.2. *Dalbergia violacea* (Jacq.) Hoffmanns. (Fabaceae-Faboideae)

(Figura 4; Tabela III)

Camadas de crescimento: presentes, distintas a olho nu tanto no lenho quanto no carvão, demarcadas por zonas fibrosas. – **Vasos:** porosidade difusa; vasos com dois tamanhos distintos, maiores sem arranjo distinto e menores em cadeia; agrupamento solitários (32%), em múltiplos de 2 (18%), 3 (19%) e múltiplos radiais acima de 4 (31%); placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e guarnecidas, também ocorrem poligonais; pontoações raio-vasculares com aréolas distintas, similares às intervasculares em tamanho e forma. – **Parênquima axial:** paratraqueal confluyente longo formando linhas e faixas, podendo ocorrer também aliforme losangular e difuso; 1-4 células por série. – **Raios:** 1-2-seriados, eventuais 3-seriados; com o corpo formado por células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. – **Fibras:** com pontoações com aréolas reduzidas a areoladas; parede celular espessa a muito espessa; fibras gelatinosas presentes. – **Estrutura estratificada:** presente, raios, parênquima axial e elementos de vaso irregularmente estratificados. – **Elementos secretores:** ausentes. – **Inclusões minerais:** ausentes.

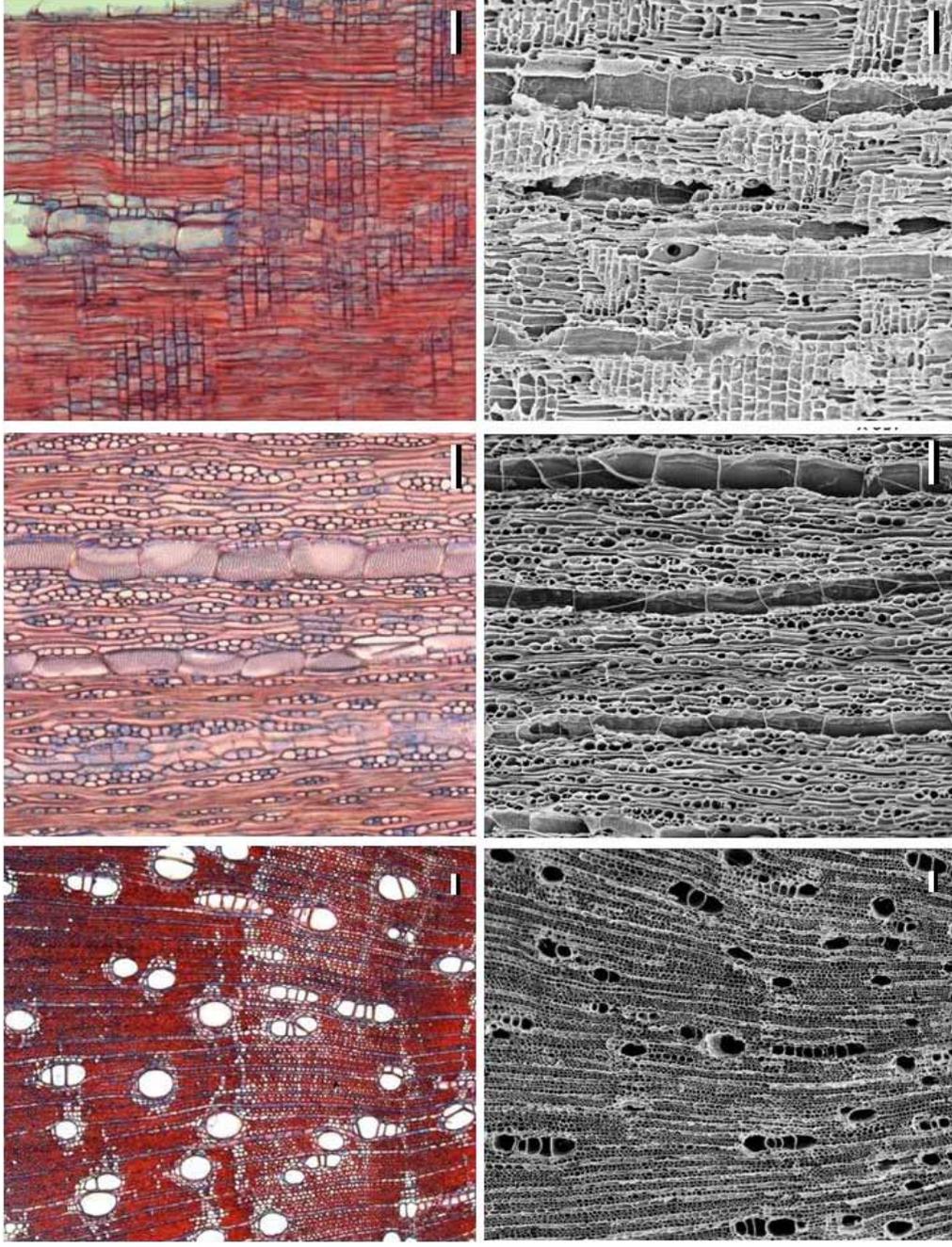


Figura 4. Fotomicrografias da anatomia do lenho do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Dalbergia violacea* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela III. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em *Dalbergia violacea* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.

Indiv	LENHO			CARVÃO			LENHO			CARVÃO		
	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP	Vasos/mm ²	DP	Vasos/mm ²	DP	Vasos/mm ²	DP
1	94 (68-136)	17	69 (50-105)	15	<0.0001		21 (12-30)	5	22 (17-33)	6		
2	99 (67-132)	19	76 (60-95)	9	<0.0001	<0.0001	13 (5-26)	8	19 (10-29)	6	0.4084	0.0891
3	97 (72-147)	22	75 (60-100)	9	<0.0001		23 (12-39)	11	26 (14-45)	8		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	5 (5-7)	1	6 (4-7)	1			13 (10-15)	2	17 (13-20)	2		
2	5 (4-6)	1	5 (4-6)	1	0.3679	0.0833	13 (8-16)	2	16 (12-19)	2	0.8116	<0.0001
3	5 (4-6)	0	5 (4-6)	1			14 (11-16)	2	17 (12-21)	3		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2
1	30 (20-40)	7	30 (20-42)	6			211 (120-375)	79	176 (92-292)	63		
2	19 (13-25)	4	19 (15-25)	4	0.3184	0.4401	226 (160-400)	73	200 (114-372)	77	0.5120	0.2702
3	39 (29-51)	8	34 (25-40)	6			250 (135-389)	75	260 (170-365)	67		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

6.1.3. *Dimorphandra mollis* Benth. (Fabaceae-Mimosoideae)

(Figura 5; Tabela IV)

Camadas de crescimento: presentes, distintas principalmente a olho nu tanto no lenho quanto no carvão, demarcadas pelo achatamento radial de linhas de parênquima marginal, sendo que no carvão tais linhas são de difícil observação e mais tênues que no lenho. – **Vasos:** porosidade difusa; sem arranjo distinto; agrupamento solitários (40%), em múltiplos de 2 (29%), 3 (18%) e múltiplos radiais acima de 4 (14%); placas de perfuração simples com disposição horizontal a oblíqua; pontoações intervasculares alternas, com tendência a opostas e guarnecidas, também ocorrem poligonais; pontoações raio-vasculares com aréolas distintas, similares às intervasculares em tamanho e forma. – **Parênquima axial:** paratraqueal aliforme losangular simples, com confluências curtas e longas; 2-5 células por série, predominância de 4 células por série. – **Raios:** predominância de 1-2-seriados, eventuais 3-seriados; maioria com o corpo formado por todas as células procumbentes, ocorre também com o corpo formado por células procumbentes e 1 fileira marginal de células eretas e/ou quadradas. – **Fibras:** com pontoações simples a aréolas reduzidas; parede celular espessa a muito espessa; fibras gelatinosas presentes. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** ausentes. – **Inclusões minerais:** cristais prismáticos em células subdivididas do parênquima axial.

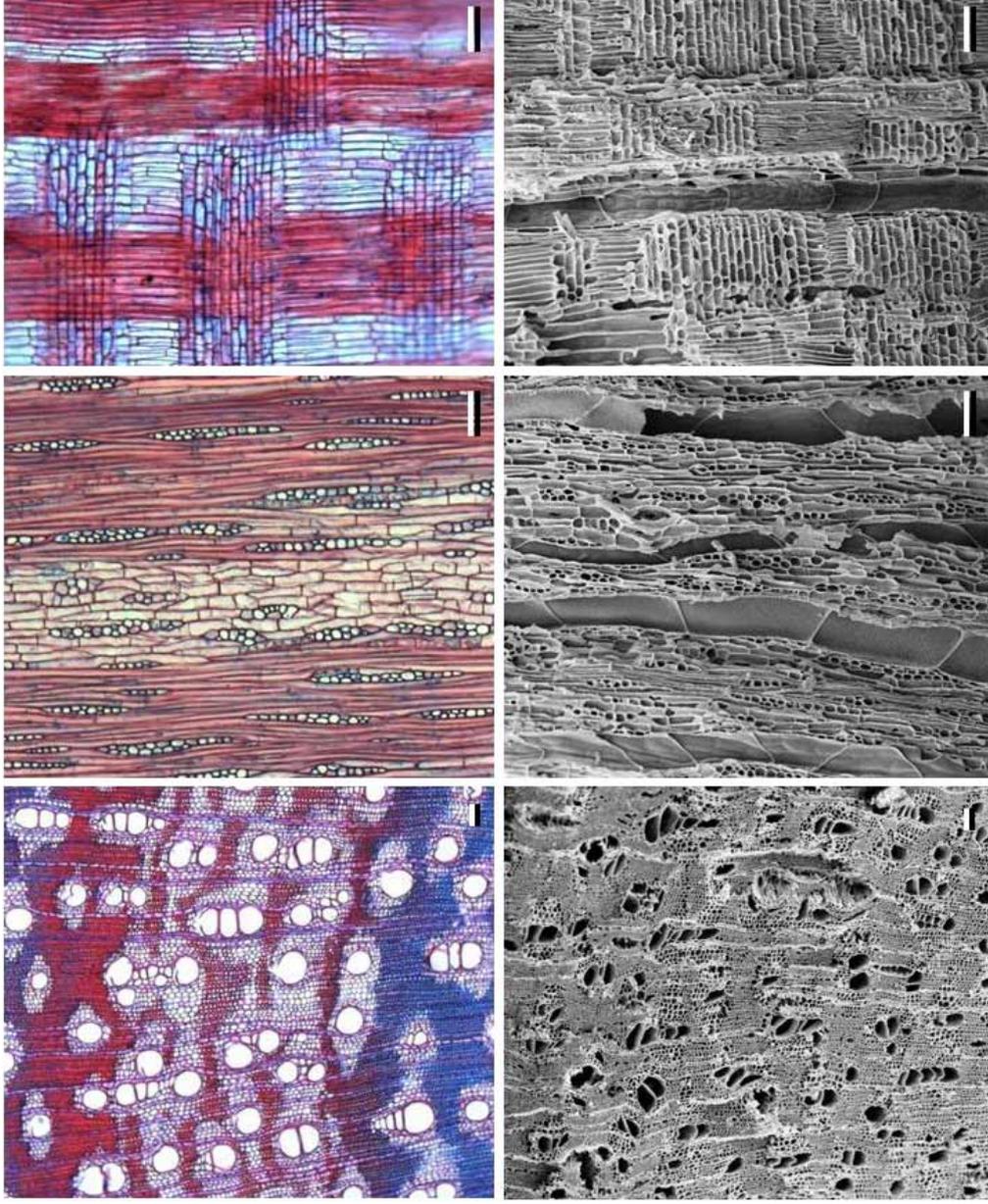


Figura 5. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Dimorphandra mollis* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela IV. Mensuração de caracteres anatómicos do lenho e do carvão em *Dimorphandra mollis* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfológicas.

Indiv	LENHO			CARVÃO			LENHO			CARVÃO		
	Ø vasos (µm)	DP	DP	Ø vasos (µm)	DP	DP	Vasos/mm ²	DP	DP	Vasos/mm ²	DP	DP
1	105 (72-148)	19	72 (50-100)	14	<0.0001		21 (15-29)	5	28 (20-39)	6		
2	86 (58-118)	16	78 (65-90)	8	0.0281	<0.0001	30 (22-43)	6	37 (27-46)	6	0.3207	0.0872
3	104 (82-139)	13	74 (60-115)	12	<0.0001		19 (6-32)	10	26 (10-40)	9		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	4 (3-5)	0	4 (3-5)	1			6 (4-9)	2	10 (7-14)	2		
2	3 (2-5)	1	4 (3-5)	1	0.3679	0.0833	8 (4-10)	2	14 (11-18)	2	0.3992	<0.0001
3	3 (2-4)	1	3 (2-4)	1			8 (6-9)	1	11 (9-14)	2		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2
1	30 (18-40)	7	32 (20-50)	9			240 (90-502)	119	241 (130-410)	89		
2	19 (12-28)	6	20 (15-25)	3	0.8456	0.1784	267 (107-480)	112	282 (160-425)	82	0.8237	0.9446
3	28 (20-41)	6	32 (25-45)	7			246 (168-334)	52	228 (155-310)	50		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

6.1.4. *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. (Fabaceae-Mimosoideae)

(Figura 6; Tabela V)

Camadas de crescimento: presentes, distintas a olho nu tanto no lenho quanto no carvão, demarcadas por zonas fibrosas. – **Vasos:** porosidade difusa; sem arranjo distinto; agrupamento solitários (62%), em múltiplos de 2 (18%), 3 (12%) e múltiplos radiais acima de 4 (7%); placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e guarnecidas, também ocorrem poligonais; pontoações raio-vasculares com aréolas distintas similares às intervasculares em tamanho e forma. – **Parênquima axial:** paratraqueal vasicêntrico, aliforme losangular, confluyente curto e longo; 2-6 células por série. – **Raios:** 1-seriado, raros 2-seriados; com o corpo formado por todas as células procumbentes. – **Fibras:** com pontoações simples a aréolas reduzidas; parede celular predominantemente fina a espessa, mas também há localmente muito espessa; presença de bandas de fibras semelhantes ao parênquima; fibras gelatinosas presentes. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** ausentes. – **Inclusões minerais:** cristais prismáticos em câmaras nas fibras.

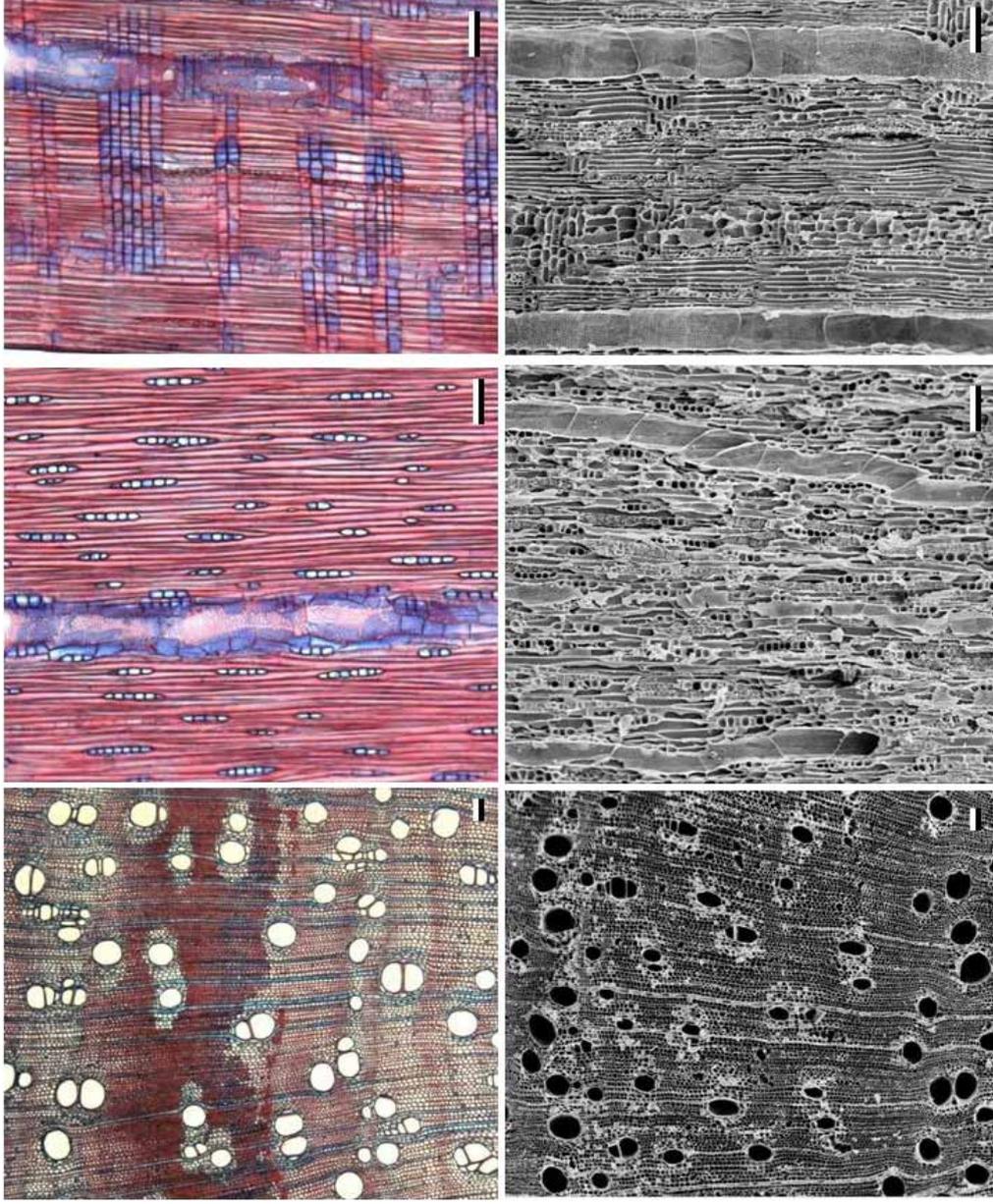


Figura 6. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Stryphnodendron polyphyllum* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela V. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em *Stryphnodendron polyphyllum* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfológicas.

Indiv	LENHO			CARVÃO			LENHO			CARVÃO		
	Ø vasos (µm)	DP	DP	Ø vasos	DP	DP	Vasos/mm ²	DP	DP	Vasos/mm ²	DP	DP
1	94 (60-155)	22	78 (55-120)	14	0.0004	4	18 (14-24)	4	24 (11-32)	6		
2	103 (60-145)	22	87 (60-125)	18	0.0009	<0.0001	30 (25-34)	3	27 (23-30)	2	0.3642	0.0862
3	100 (76-141)	15	83 (65-110)	12	0.0006		20 (8-32)	9	22 (10-29)	5		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	5 (3-6)	1	6 (5-6)	1			9 (6-12)	2	12 (9-16)	2		
2	5 (4-6)	1	5 (4-6)	1	0.3679	0.0833	8 (5-11)	2	9 (7-12)	2	0.7447	0.0009
3	5 (4-6)	1	5 (4-6)	1			9 (6-12)	2	10 (7-14)	2		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios	DP	Altura Raios	DP	p 1	p 2
1	20 (15-25)	3	17 (10-20)	3	0.0284		196 (110-310)	68	149 (89-224)	40		
2	18 (14-28)	4	20 (15-25)	4	0.2724	0.9943	140 (99-218)	34	127 (90-255)	49	0.5544	0.0046
3	17 (10-27)	5	19 (15-25)	3	0.2797		162 (105-226)	38	133 (110-180)	19		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

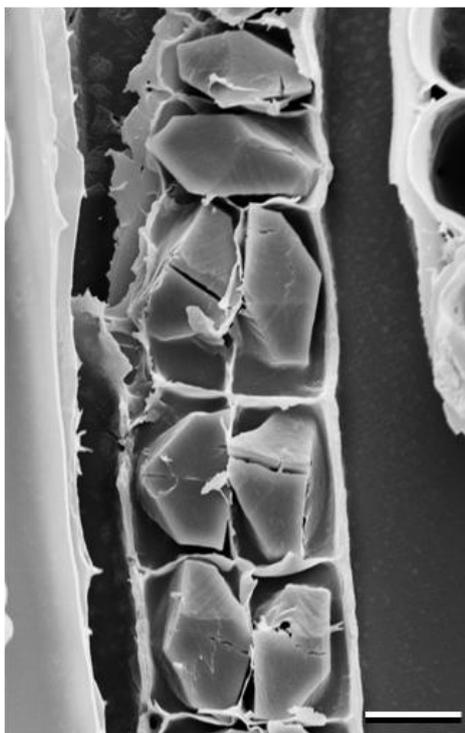


Figura 7. Fotomicrografias dos cristais prismáticos em câmaras nas fibras do carvão de *Stryphnodendron polyphyllum*. Escala: 10 μm .

Clado Fabídeas (Fabids)**Ordem Malpighiales**6.1.5. *Caryocar brasiliense* Cambess. (Caryocaraceae)

(Figura 8; Tabela VI)

Camadas de crescimento: presentes, distintas principalmente a olho nu tanto no lenho quanto no carvão, demarcadas por zonas fibrosas e linhas de parênquima marginal. – **Vasos:** porosidade difusa; sem arranjo distinto; agrupamento solitários (40%), em múltiplos de 2 (26%), 3 (16%) e múltiplos radiais acima de 4 (18%); tiloses presentes; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, eventualmente apresentado disposição poligonal; pontoações raio-vasculares maiores que as intervasculares, com aréolas muito reduzidas a aparentemente simples, arredondadas e horizontais, ocorre também de dois tamanhos e tipos distintos na mesma célula. – **Parênquima axial:** predominantemente apotraqueal difuso e difuso em agregados formando linhas marginais, ocorre também paratraqueal escasso à vasicêntrico; 5-8 células por série. – **Raios:** predominantemente 1-2-seriados, ocorrendo também 3-seriados, com a porção multiseriada na mesma largura que a porção uniseriada e fusionados, estes maiores que 1 mm de altura; corpo formado por células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. – **Fibras:** com pontoações simples a aréolas reduzidas; maioria das fibras não septadas, ocorrendo também algumas septadas; parede celular fina a espessa, mas também com parede muito espessa; fibras gelatinosas presentes. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** ausentes. – **Inclusões minerais:** cristais prismáticos em células subdivididas do parênquima axial.

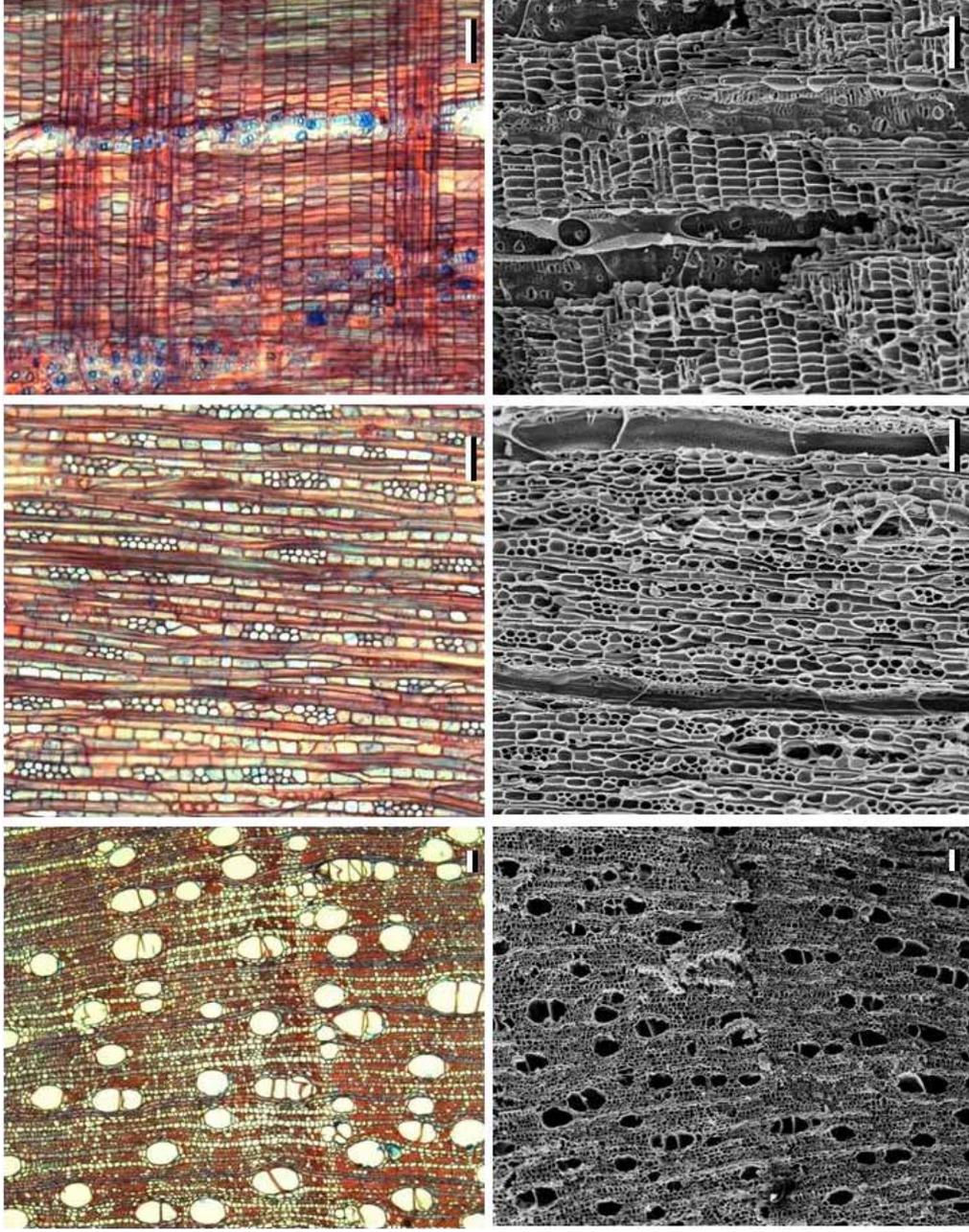


Figura 8. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Caryocar brasiliense* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela VI. Mensuração de caracteres anatómicos do lenho e do carvão em *Caryocar brasiliense* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfológicas.

Indiv	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2
	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP			Vasos/mm ²	DP	Vasos/mm ²	DP		
1	85 (45-114)	18	70 (40-100)	15	0.0002		23 (15-31)	5	30 (21-38)	6		
2	83 (57-120)	15	65 (45-90)	12	<0.0001	<0.0001	31 (22-43)	7	47 (34-54)	6	0.3778	0.0887
3	86 (58-124)	17	75 (55-100)	12	0.0112		28 (20-34)	5	45 (37-57)	6		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	5 (4-6)	1	6 (5-7)	1			14 (12-17)	2	18 (14-20)	2		
2	6 (4-9)	1	7 (5-8)	1	0.3679	0.0833	14 (11-17)	2	14 (12-17)	2	0.0591	0.0197
3	6 (6-7)	0	6 (5-7)	1			16 (13-18)	1	16 (12-21)	3		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2
1	34 (23-46)	8	28 (20-35)	5	0.0189		592 (457-755)	119	566 (395-800)	128		
2	29 (21-36)	5	30 (20-40)	6	0.7934	0.3136	660 (222-1054)	306	448 (315-625)	106	0.0609	0.0761
3	23 (16-29)	4	31 (25-35)	4	0.0001		411 (284-558)	95	423 (250-620)	126		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

6.1.6. *Couepia grandiflora* (Mart. & Zucc.) Benth & Hook. f. (Chrysobalanaceae)

(Figura 9; Tabela VII)

Camadas de crescimento: presentes, distintas a olho nu tanto na lenho quanto no carvão, demarcadas por zonas fibrosas. – **Vasos:** porosidade difusa; sem arranjo distinto; vasos de dois tamanhos distintos, não sendo anel poroso; exclusivamente solitários; tiloses presentes, principalmente próximo à medula; placas de perfuração simples; pontoações raio-vasculares com aréolas distintas, de dois tamanhos distintos na mesma célula, com aréolas muito reduzidas a aparentemente simples, em disposição diagonal e vertical. – **Parênquima axial:** em linhas; acima de 8 células por série. – **Raios:** predominância de 1-seriados, eventualmente 2-seriados; corpo formado por células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. – **Fibras:** com pontoações areoladas; parede celular fina a espessa. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** ausentes. – **Inclusões minerais:** ausentes.

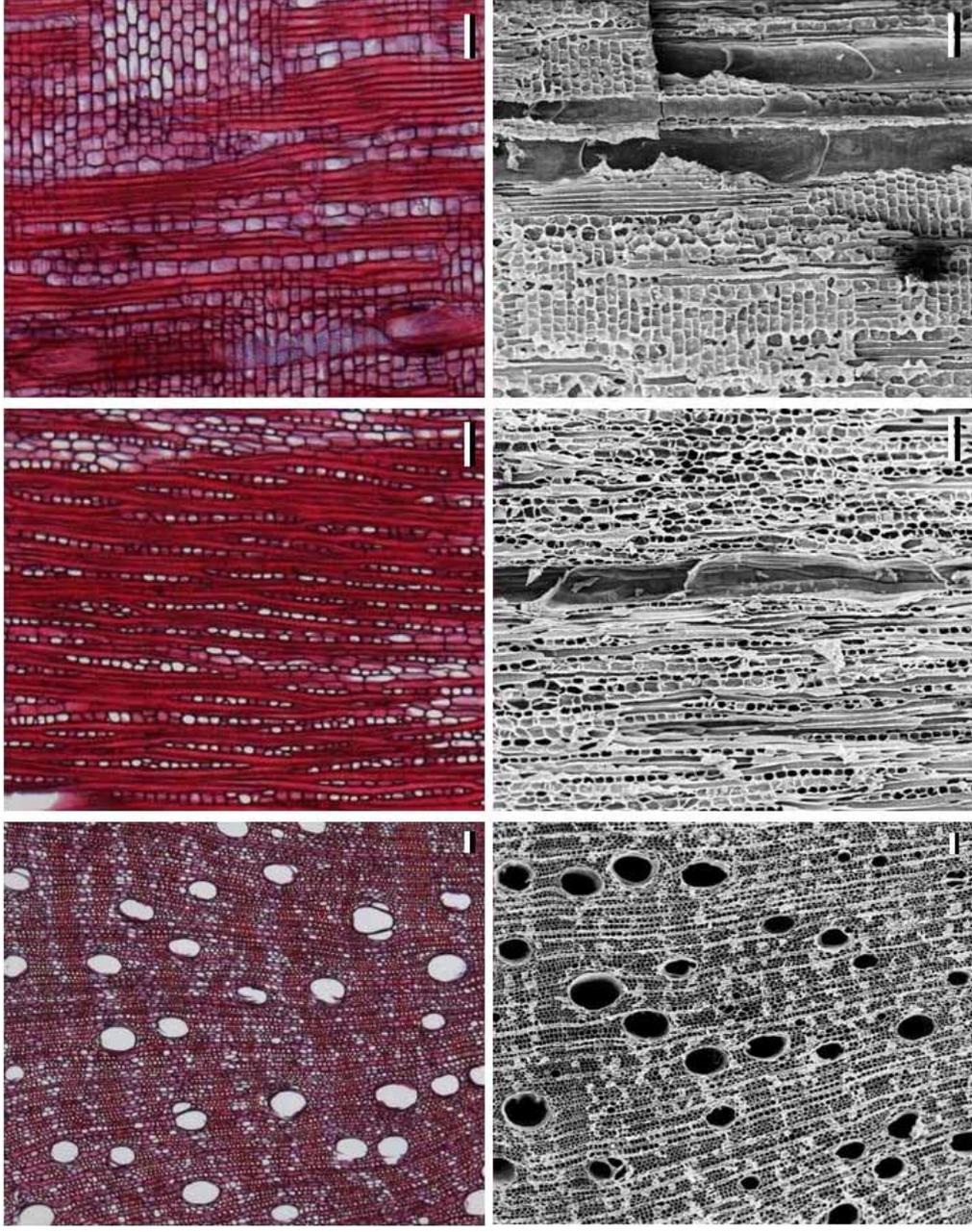


Figura 9. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Couepia grandiflora* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela VII. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em *Couepia grandiflora* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfológicas.

Indiv	LENHO			CARVÃO			LENHO			CARVÃO		
	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP	p 1	p 2	Vasos/mm ²	DP	p 1	p 2	Vasos/mm ²	DP
1	89 (57-146)	19	99 (65-140)	18	0.0198		14 (7-20)	4			11 (7-16)	2
2	110 (76-137)	14	102 (75-130)	15	0.1062	0.2472	7 (5-12)	2	0.4337		8 (7-11)	1
3	101 (71-127)	16	107 (80-135)	15	0.1953		12 (6-17)	4			11 (9-13)	1
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP
1	0	0	0	0			16 (13-18)	2			19 (15-22)	2
2	0	0	0	0	0	0	16 (14-18)	1	0.5623		17 (11-23)	4
3	0	0	0	0			15 (10-19)	3			17 (14-20)	2
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP
1	29 (23-37)	5	22 (15-35)	6	0.0025		508 (298-958)	173			346 (300-400)	37
2	21 (13-33)	6	23 (15-30)	5	0.3283	0.0707	496 (266-847)	162	0.2822		287 (165-385)	61
3	22 (14-29)	6	20 (15-30)	5	0.2592		396 (236-580)	123	<0.0001		291 (210-360)	51

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

Clado Malvídeas (Malvids)**Ordem Sapindales**6.1.7. *Tapirira guianensis* Aubl. (Anacardiaceae)

(Figura 10; Tabela VIII)

Camadas de crescimento: presentes, distintas a olho nu na lenho e principalmente no carvão, demarcadas por zonas fibrosas. – **Vasos:** porosidade difusa; sem arranjo distinto; agrupamento solitários (58%), em múltiplos de 2 (24%), 3 (12%) e múltiplos radiais acima de 4 (6%); tiloses raras; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas; espessamento espiralado nos vasos; pontoações raio-vasculares maiores que as intervasculares, com aréolas muito reduzidas a aparentemente simples, arredondadas e horizontais, ocorre também de dois tamanhos e tipos distintos na mesma célula. – **Parênquima axial:** paratraqueal escasso a vasicêntrico; 4-7 células por série. – **Raios:** 1-3-seriados, maioria 2-seriados; com o corpo formado por células procumbentes e 1-4 fileiras marginais de células eretas e quadradas, podendo ocorrer mais de 4 fileiras marginais de células eretas e quadradas ou corpo formado por células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. – **Fibras:** com pontoações simples a aréolas reduzidas; poucas septadas; parede celular fina a espessa; fibras gelatinosas presentes. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** canais radiais presentes. – **Inclusões minerais:** cristais prismáticos individuais em células procumbentes, eretas e quadradas de raio.

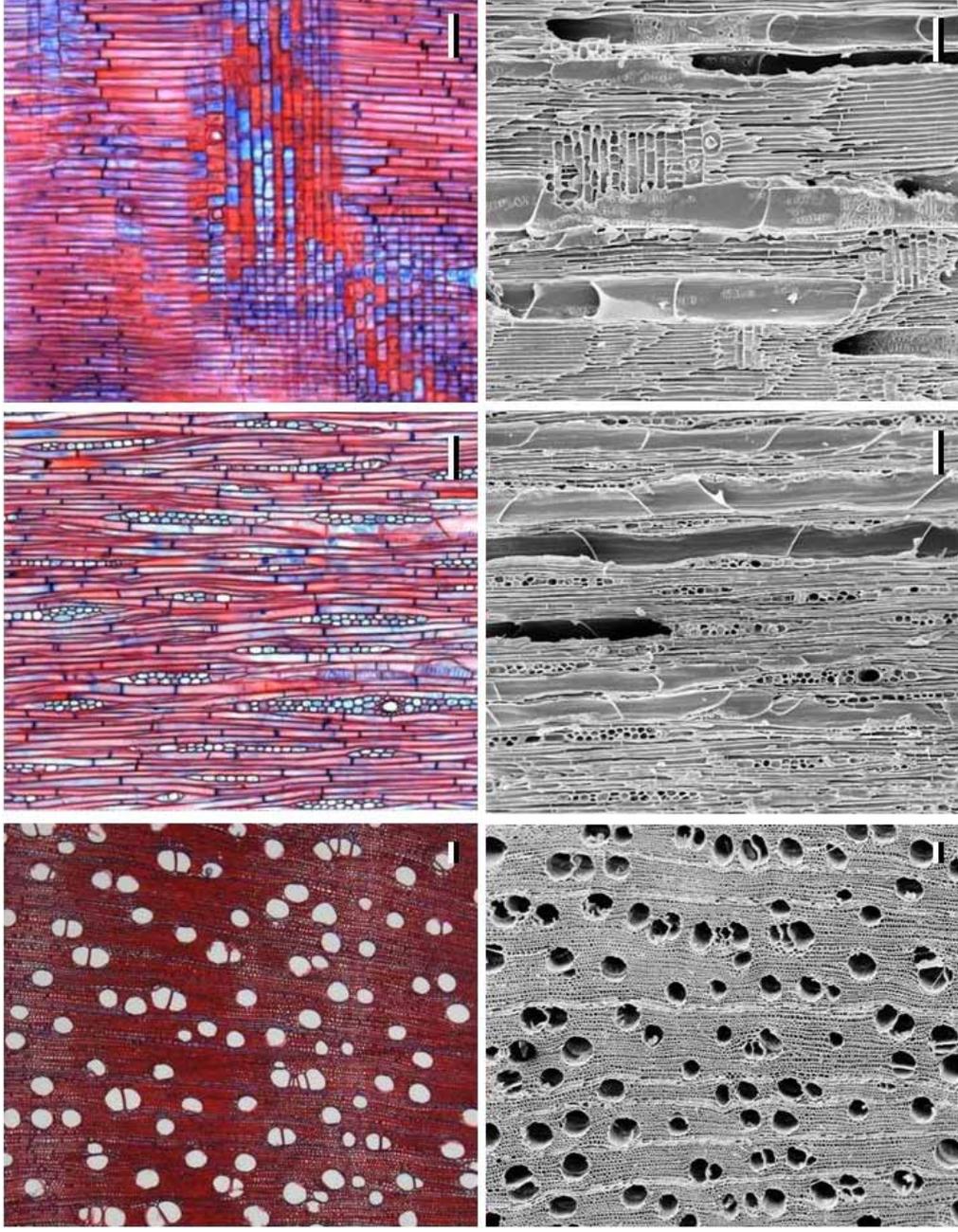


Figura 10. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Tapirira guianensis* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela VIII. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em *Tapirira guianensis* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfológicas.

Indiv	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2
	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP			Vasos/mm ²	DP	Vasos/mm ²	DP		
1	73 (51-98)	13	68 (50-90)	10			21 (16-27)	4	28 (24-39)	5		
2	50 (39-65)	8	49 (35-70)	9	0.7472	0.0846	40 (28-53)	9	38 (28-48)	7	0.3227	0.0881
3	91 (63-118)	13	87 (60-115)	13			28 (24-32)	2	33 (25-40)	5		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	5 (4-7)	1	5 (3-6)	1			7 (4-8)	1	9 (6-12)	2		
2	5 (4-7)	1	5 (3-6)	1	0.3679	0.0833	8 (6-11)	1	13 (10-16)	2	0.1333	<0.0001
3	5 (4-8)	1	6 (5-7)	1			7 (5-10)	1	8 (6-12)	2		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2
1	29 (25-30)	2	26 (20-30)	3			343 (270-400)	43	303 (215-370)	56		
2	22 (15-28)	4	23 (15-30)	6	0.3169	0.8871	276 (172-450)	89	237 (130-330)	63	0.9281	0.0294
3	26 (20-33)	4	27 (20-30)	3			385 (261-531)	93	348 (220-445)	69		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

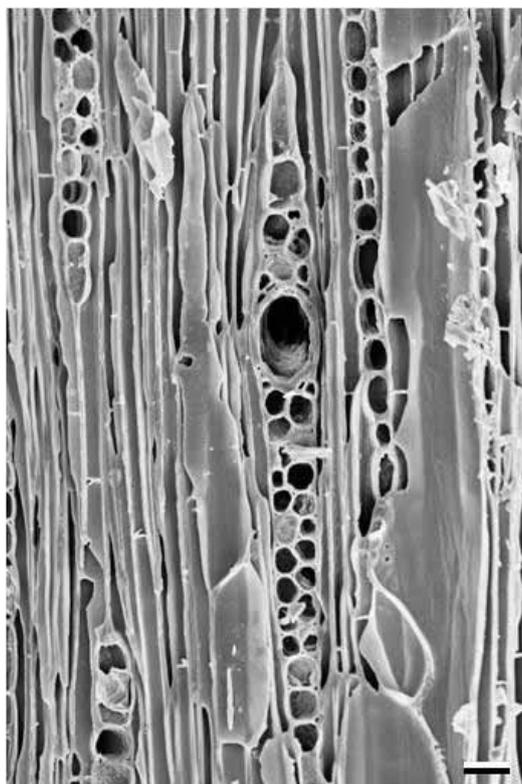


Figura 11. Canal radial no carvão de *Tapirira guianensis*. Escala: 30 μm .

Clado Malvídeas (Malvids)**Ordem Myrtales**6.1.8. *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae)

(Figura 12; Tabela IX)

Camadas de crescimento: distintas, pouco distintas a olho nu tanto no lenho quanto no carvão, demarcadas por fibras com diâmetro reduzido e/ou achatamento radial assim como linhas marginais descontínuas de parênquima axial e variação na quantidade de parênquima axial. – **Vasos:** porosidade difusa; sem arranjo distinto; agrupamento solitários (42%), em múltiplos de 2 (37%), 3 (14%) e múltiplos radiais acima de 4 (7%); tiloses presentes; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, eventuais poligonais e guarnecidas; pontoações raio-vasculares com aréolas distintas, similares às intervasculares em tamanho e forma. – **Parênquima axial:** aliforme losangular, confluyente curto e longo; 3-6 células por série. – **Raios:** 2-4-seriados, eventuais 1-seriados; corpo formado somente por células procumbentes ou células procumbentes e 1-2 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas. – **Fibras:** com pontoações simples a aréolas reduzidas; parede celular espessa a muito espessa; maioria das fibras não septadas, ocorrendo também algumas fibras septadas; fibras gelatinosas presentes. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** canais traumáticos presentes. – **Inclusões inorgânicas:** cristais prismáticos em células subdivididas do parênquima axial; corpos silicosos presentes nas células radiais.

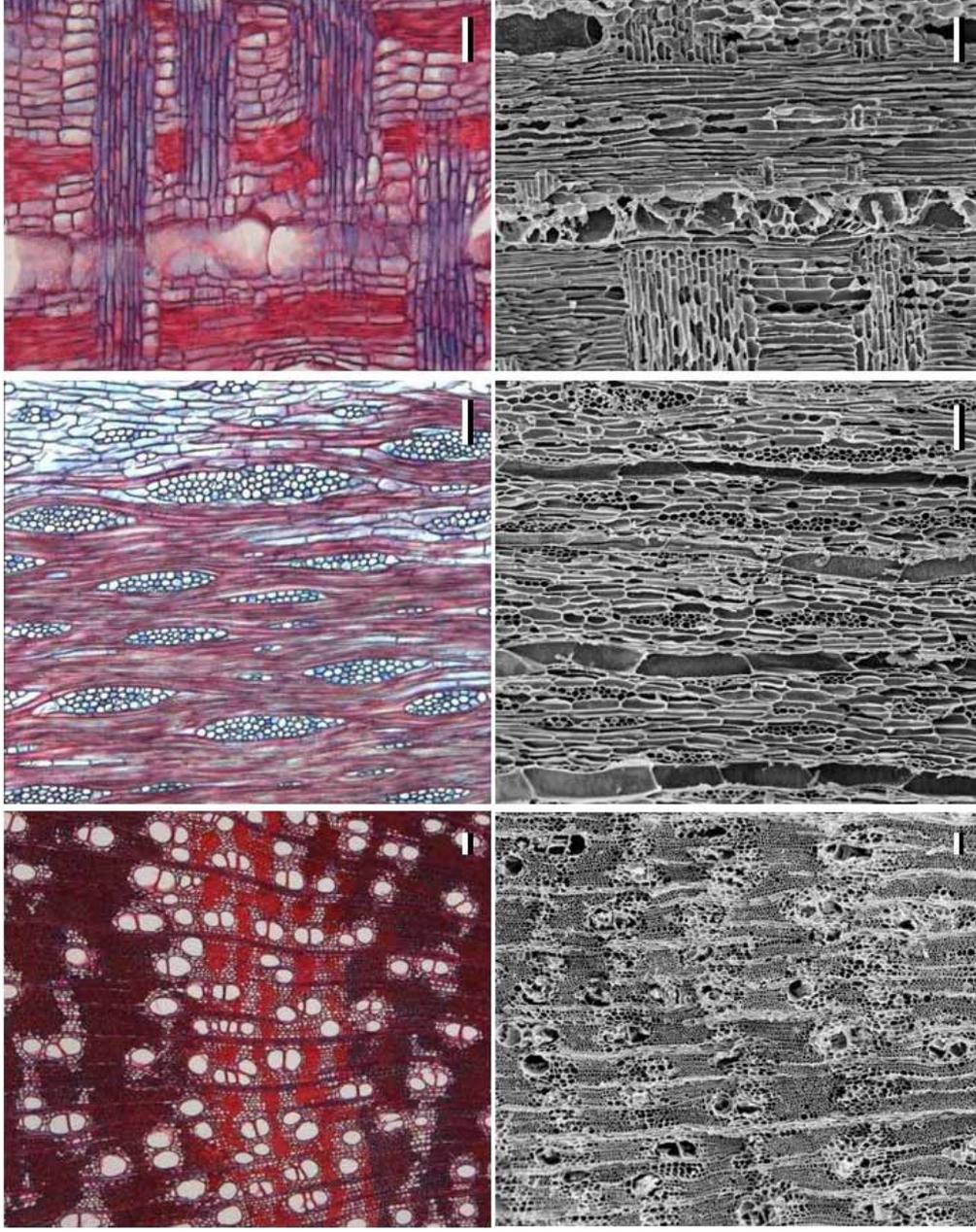


Figura 12. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Qualea grandiflora* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela IX. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em *Qualea grandiflora* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfológicas.

Indiv	LENHO			CARVÃO			LENHO			CARVÃO		
	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP	Vasos/mm ²	DP	Vasos/mm ²	DP	p 1	p 2
1	97 (59-114)	15	71 (40-100)	15	<0.0001		20 (16-25)	3	19 (11-24)	5		
2	82 (57-108)	14	79 (60-100)	10	0.3812	<0.0001	22 (13-33)	7	27 (22-34)	4	0.3660	0.0857
3	74 (57-90)	9	62 (40-75)	8	<0.0001		24 (11-37)	10	26 (16-46)	8		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	4 (4-5)	1	5 (4-6)	1			6 (4-8)	1	8 (5-12)	2		
2	4 (3-4)	0	3 (3-4)	1	0.3679	0.0833	7 (5-9)	1	10 (7-15)	2	0.2262	<0.0001
3	4 (3-4)	0	4 (3-5)	1			7 (5-10)	1	11 (9-14)	2		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2
1	43 (29-58)	11	44 (30-60)	9			278 (124-526)	132	333 (215-410)	82		
2	36 (18-49)	10	37 (25-50)	7	0.8135	0.9994	231 (201-278)	26	307 (225-380)	45	0.8293	0.0010
3	40 (25-60)	10	39 (35-45)	3			269 (175-438)	87	347 (250-450)	84		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

6.1.9. *Vochysia tucanorum* Mart. (Vochysiaceae)

(Figura 13; Tabela X)

Camadas de crescimento: presentes, distintas a olho nu na lenho e principalmente no carvão, demarcadas por linhas marginais de parênquima axial. – **Vasos:** porosidade difusa; sem arranjo distinto; agrupamento solitários (59%), em múltiplos de 2 (32%), 3 (7%) e múltiplos radiais acima de 4 (2%); tiloses presentes; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, guarnecidas e eventuais poligonais; pontoações raio-vasculares com aréolas distintas, similares às intervasculares em tamanho e forma. – **Parênquima axial:** paratraqueal vasicêntrico, aliforme losangular, confluyente curto e longo, formando bandas marginais irregulares; 2-6 células por série. – **Raios:** predominantemente 3-5-seriados, ocorrendo eventualmente 1-2-seriados e raros 6-seriados; com o corpo formado por células procumbentes e 1-2 fileiras marginais de células eretas e quadradas; raros fusionados. – **Fibras:** com pontoações simples a aréolas reduzidas; parede celular fina a espessa; fibras gelatinosas presentes. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** canais traumáticos presentes. – **Inclusões minerais:** ausentes.

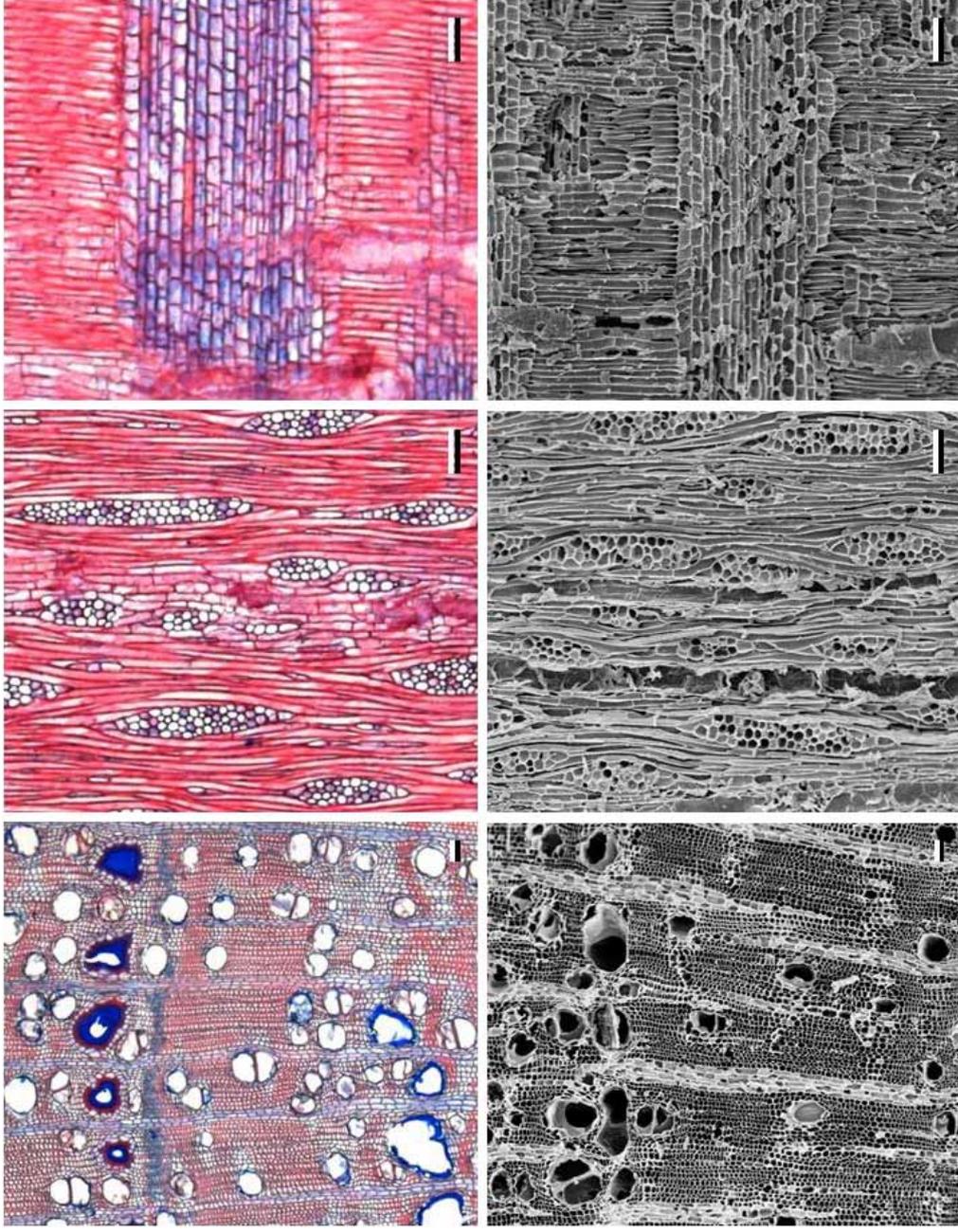


Figura 13. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Vochysia tucanorum* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela X. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em *Vochysia tucanorum* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfológicas.

Indiv	LENHO			CARVÃO			LENHO			CARVÃO			
	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP	p 1	p 2	Vasos/mm ²	DP	DP	Vasos/mm ²	DP	p 1	p 2
1	103 (67-139)	20	81 (60-100)	13	<0.0001		15 (12-19)	2		20 (16-25)	3		
2	104 (81-127)	12	71 (55-90)	11	<0.0001	<0.0001	15 (10-20)	3		15 (11-19)	2	0.3984	0.0853
3	98 (67-149)	26	90 (65-125)	16	0.0973		17 (8-31)	6		22 (14-31)	6		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	6 (5-7)	1	5 (4-7)	1			4 (2-5)	1		6 (4-9)	2		
2	6 (5-7)	0	6 (5-7)	1	0.3679	0.0833	4 (3-4)	0		7 (6-8)	1	0.1295	<0.0001
3	6 (5-6)	0	5 (4-6)	1			5 (3-6)	1		6 (5-8)	1		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	DP	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2
1	73 (63-88)	8	54 (45-70)	8	<0.0001		585 (347-1444)	342		456 (260-750)	150		
2	74 (47-100)	14	57 (40-75)	11	<0.0001	<0.0001	410 (200-535)	117		482 (320-760)	162	0.0923	0.7839
3	57 (37-70)	10	54 (45-70)	7	0.3734		517 (316-959)	192		607 (250-910)	164		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

Clado Asterídeas (Asterids)**Ordem Ericales**6.1.10. *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae)

(Figura 14; Tabela XI)

Camadas de crescimento: presentes, indistintas a olho nu tanto no lenho quanto no carvão, demarcadas por linhas marginais de parênquima axial. – **Vasos:** porosidade difusa; em arranjo diagonal e/ou radial; agrupamento solitários (29%), em múltiplos de 2 (30%), 3 (23%) e múltiplos radiais acima de 4 (17%); placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, eventualmente poligonais; pontoações raio-vasculares grandes e com aréolas muito reduzidas a aparentemente simples, em disposição horizontal e vertical, ocorrendo também pontoações com aréolas distintas, pequenas e similares às intervasculares em tamanho e forma, assim como pontoações grandes e pequenas na mesma célula. – **Parênquima axial:** em linhas e faixas de 1-4 células de largura, com tendência a reticulado; 5-9 células por série. – **Raios:** 1-2-seriados, predominância de 1-seriado; com o corpo formado por células procumbentes e mais de 4 fileiras marginais de células eretas e quadradas; eventuais raios fusionados. – **Fibras:** com pontoações simples a aréolas reduzidas; parede celular muito espessa. – **Estrutura estratificada:** ausente. – **Elementos secretores:** ausentes. – **Inclusões minerais:** ausentes.

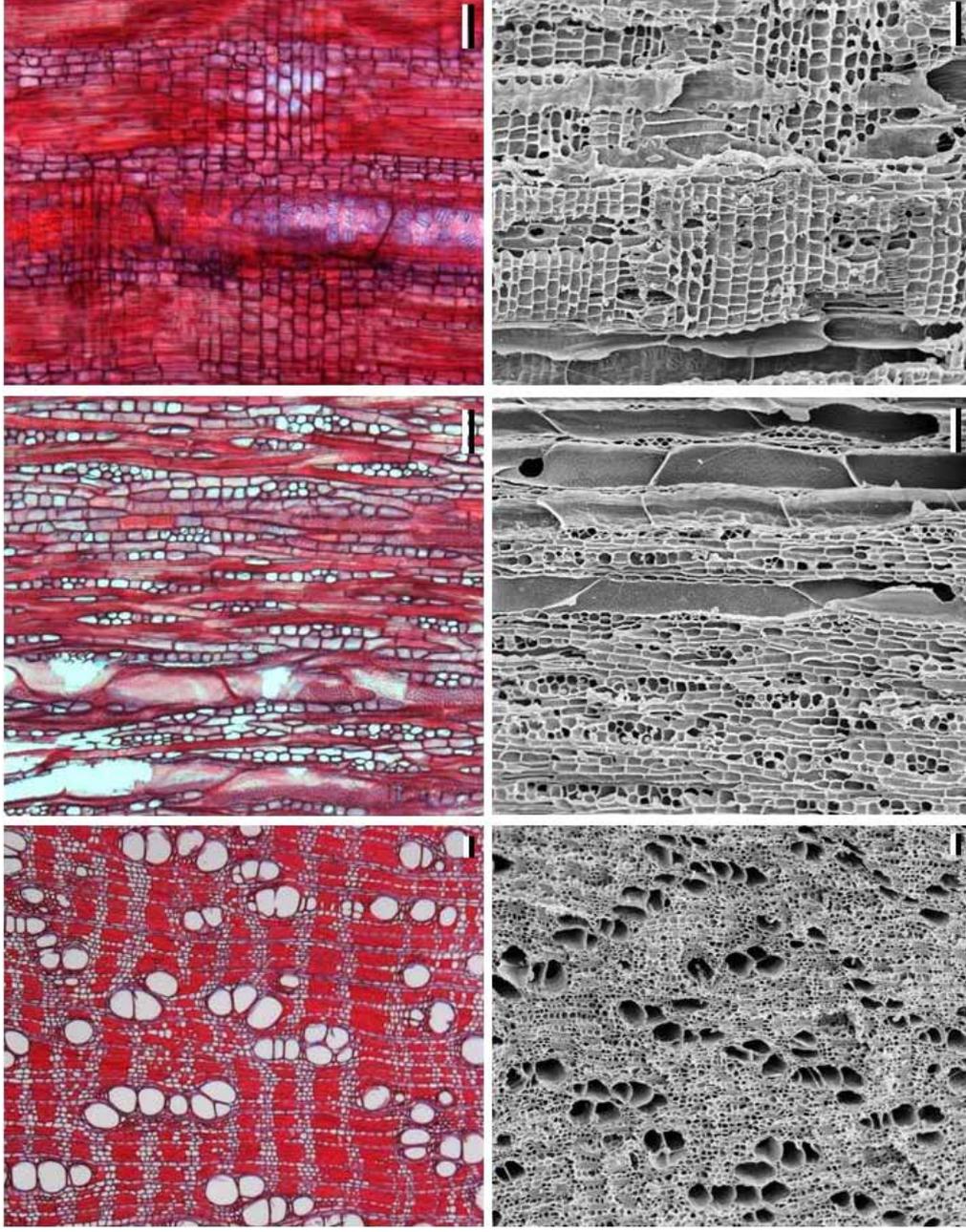


Figura 14. Fotomicrografias da anatomia do lenho (acima) e do carvão (abaixo) de *Pouteria torta* de acordo com os três planos de corte: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, respectivamente. Escala: 100 μm .

Tabela XI. Mensuração de caracteres anatômicos do lenho e do carvão em *Pouteria torta* e níveis de significância das comparações estatísticas realizadas para comparar as variações morfométricas.

Indiv	LENHO			CARVÃO			LENHO			CARVÃO		
	Ø vasos (µm)	DP	Ø vasos (µm)	DP	p 1	p 2	Vasos/mm ²	DP	Vasos/mm ²	DP	p 1	p 2
1	91 (73-159)	18	75 (60-100)	11	<0.0001		25 (19-32)	4	28 (20-34)	5		
2	115 (88-159)	19	85 (65-120)	14	<0.0001	<0.0001	23 (15-33)	5	31 (21-39)	5	0.3520	0.0855
3	129 (92-156)	21	114 (75-140)	21	0.0075		17 (11-26)	5	25 (18-28)	3		
Indiv	Ø Pontoação (µm)	DP	Ø Pontoação (µm)	DP	p 1	p 2	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	p 2
1	2 (2-3)	0	2 (1-3)	1			14 (12-16)	1	16 (12-20)	2		
2	4 (3-5)	1	4 (3-5)	1	0.3679	0.0833	13 (10-14)	1	15 (11-17)	2	0.9997	0.0002
3	4 (3-5)	1	4 (3-6)	1			11 (8-15)	2	13 (10-17)	2		
Indiv	Largura Raios (µm)	DP	Largura Raios (µm)	DP	p 1	p 2	Altura Raios (µm)	DP	Altura Raios (µm)	DP	p 1	p 2
1	23 (15-31)	5	24 (15-35)	7			349 (200-620)	155	358 (180-586)	126		
2	31 (16-40)	6	35 (25-45)	6	0.9176	0.2166	332 (232-535)	89	301 (250-400)	48	0.7623	0.7541
3	26 (14-39)	8	29 (15-50)	12			342 (216-502)	79	343 (195-600)	127		

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

6.2. Síntese dos resultados

Os resultados qualitativos mais expressivos foram resumidos sob forma de tabelas para facilitar a análise dos mesmos e para destacar as diferenças entre as espécies. A Tabela XII apresenta a síntese dos caracteres qualitativos do lenho das espécies analisadas.

O agrupamento dos vasos foi aferido de acordo com os dez campos analisados para medir a frequência de vasos, ou seja, realizou-se para lenho e carvão: (i) a avaliação do agrupamento em cada campo por indivíduo; (ii) o cálculo da média por indivíduo de acordo com os dez campos; (iii) o cálculo da média por espécie de acordo com os valores médios em cada indivíduo. Os valores médios entre lenho e carvão por indivíduo, assim como os valores médios para espécie são apresentados na Tabela XIII.

O resumo dos dados de variação quantitativa entre lenho e carvão por espécies, incluindo a distinção entre os indivíduos, foi apresentado em tabelas da seguinte forma: (i) diâmetro tangencial dos vasos em μm , porcentagem média de variação no carvão, e frequência dos vasos por mm^2 (Tabela XIV); (ii) diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares em μm e frequência de raios em mm (Tabela XV); (iii) largura e altura dos raios em μm (Tabela XVI).

Para sete indivíduos de sete espécies selecionadas, foi também realizada a comparação entre duas metodologias de análise, a primeira considerando o número de medições recomendado pelo IAWA Committee (1989) e a segunda considerando 30 medições. Os dois conjuntos de dados foram analisados estatisticamente, e os resultados apresentados na seguinte ordem: (i) diâmetro tangencial em μm e frequência dos vasos em mm^2 (Tabela XVII); (ii) diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares em μm e frequência de raios em mm (Tabela XVIII); (iii) largura e altura dos raios em μm (Tabela XIX). Nesta abordagem, quando o $p < 0,05$ – nível de significância entre carvão e lenho por espécie (indivíduo) – da segunda metodologia foi significativo ($<0,05$) e o $p > 0,05$ da primeira metodologia não foi significativo ($>0,05$), comprova-se que a segunda metodologia é melhor para aferir determinado parâmetro. Por outro lado, se a segunda metodologia apresentar valores de $p > 0,05$ maior ou igual à primeira metodologia, comprova-se que a primeira metodologia é suficiente, fornecendo boa significância a partir de um menor esforço de mensuração.

Tabela XII. Síntese dos caracteres anatômicos qualitativos das espécies analisadas.

Espécie	Caractere		Vasos		Paréquima Axial	Raios			Fibras		Elementos Secretores	Inclusões Minerais		
	CC	CC	Tilos	PP		IV	RV	Ser	Tipo	PC			Septos	G
<i>Copaifera langsdorffii</i>	✓	✓	-	s	al/gu	≈	em faixas e paratraqueal vasicêntrico	1-2(3), 2-4	A/B	2	-	✓	canais axiais	✓
<i>Dalbergia violaceae</i>	✓	✓	-	s	al/gu	≈	confluyente longo formando linhas e faixas, aliforme losangular	1-2(3)	E	3	-	✓	-	-
<i>Dimorphandra mollis</i>	✓	✓	-	s	al/gu	≈	aliforme losangular simples, com confluências curtas e longas	1-2(3)	A/B	3	-	✓	-	✓
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	✓	✓	-	s	al/gu	≈	paratraqueal vasicêntrico, aliforme losangular, confluyente curto e longo	1(2)	A	2	-	✓	-	✓
<i>Caryocar brasiliense</i>	✓	✓	✓	s	al	>/2t	difuso, difuso em agregados e em linhas marginais	1-2(3)	E	2	✓	✓	-	✓
<i>Couepia grandiflora</i>	✓	✓	✓	s	-	2t	em linhas	1(2)	E	2	-	-	-	-
<i>Tapirira guianensis</i>	✓	✓	✓	s	al	>/2t	paratraqueal escasso a vasicêntrico	1-3	B/C (D/E)	2	✓	✓	canais radiais	✓
<i>Qualea grandiflora</i>	✓	✓	✓	s	al/gu	≈	aliforme losangular, confluyente curto e longo	(1)2-4	A/B/C	3	-	✓	canais traumáticos	✓
<i>Vochysia tucanorum</i>	✓	✓	✓	s	al/gu	≈	paratraqueal vasicêntrico, aliforme losangular e confluyente formando bandas marginais irregulares	(1-2) 3-5(6)	B/C	2	-	✓	canais traumáticos	-
<i>Pouteria torta</i>	✓	✓	-	s	al	≈ / >	em linhas e faixas com tendência a reticulado	1-2	D	3	-	-	-	-

Legenda: ✓ – presença; (-) – ausência; **CC** – Camadas de crescimento; **Vasos** – PP – placas de perfuração (s – simples, m – múltiplas), PI – pontoações intervaseculares (al – alternas, op – opostas, gu – guarnecidas), PRV – pontoações raio-vaseculares (≈ – semelhante às pontoações intervaseculares, > – maiores que as pontoações intervaseculares, 2t – de dois tipos distintos); **Raios** – Ser – seriação, Tipo – A (todas as células procumbentes), B (corpo formado por células procumbentes e 1 fileira marginal de células eretas e/ou quadradas), C (corpo formado por células procumbentes e 2-4 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas), D (corpo formado por células eretas e/ou quadradas), E (todas as células marginais de células eretas e/ou quadradas), F (todas as células eretas e/ou quadradas), G – gelatinosas. Os dados apresentados entre parênteses indicam caracteres raros ou eventuais.

Tabela XIII. Porcentagem média de vasos solitários e múltiplos em cada indivíduo analisado (as amostras de *Couepia grandiflora* não foram consideradas pelo fato da espécie ter vasos exclusivamente solitários).

Espécie	Indiv.	amostra	solit.	x2	x3	x4 ou +	
1. <i>Copaifera langsdorffii</i>	1	LENHO	34	16	10	41	
		CARVÃO	51	24	10	15	
	2	LENHO	64	18	14	5	
		CARVÃO	63	20	10	6	
	3	LENHO	62	17	17	4	
		CARVÃO	70	19	10	2	
			MÉDIA	57	19	12	12
	2. <i>Dalbergia violacea</i>	1	LENHO	34	20	13	33
			CARVÃO	41	15	12	33
		2	LENHO	46	10	23	21
CARVÃO			33	19	22	26	
3		LENHO	19	21	24	35	
		CARVÃO	21	22	20	37	
			MÉDIA	32	18	19	31
3. <i>Dimorphandra mollis</i>		1	LENHO	32	26	22	20
			CARVÃO	43	29	20	8
		2	LENHO	38	43	9	10
	CARVÃO		42	34	18	5	
	3	LENHO	42	19	16	23	
		CARVÃO	42	22	20	16	
			MÉDIA	40	29	18	14
	4. <i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	1	LENHO	67	22	4	7
			CARVÃO	51	19	16	14
		2	LENHO	62	13	16	9
CARVÃO			62	20	14	3	
3		LENHO	63	19	13	4	
		CARVÃO	65	17	10	8	
			MÉDIA	62	18	12	7
5. <i>Caryocar brasiliense</i>		1	LENHO	51	31	14	3
			CARVÃO	34	29	22	15
		2	LENHO	34	19	18	29
	CARVÃO		32	18	16	34	

Espécie	Indiv.	amostra	solit.	x2	x3	x4 ou +	
5. <i>Caryocar brasiliense</i>	3	LENHO	51	34	11	4	
		CARVÃO	36	23	18	22	
			MÉDIA	40	26	16	18
	7. <i>Tapirira guianensis</i>	1	LENHO	52	27	14	8
			CARVÃO	58	19	11	11
		2	LENHO	58	27	9	5
			CARVÃO	61	26	10	4
		3	LENHO	63	22	12	3
			CARVÃO	56	26	15	3
				MÉDIA	58	24	12
8. <i>Qualea grandiflora</i>		1	LENHO	53	23	14	10
			CARVÃO	37	39	20	3
		2	LENHO	42	40	16	3
	CARVÃO		37	36	15	12	
	3	LENHO	42	44	9	5	
		CARVÃO	41	37	10	12	
			MÉDIA	42	37	14	7
	9. <i>Vochysia tucanorum</i>	1	LENHO	62	34	4	0
			CARVÃO	44	34	16	7
		2	LENHO	79	19	2	0
CARVÃO			55	42	3	0	
3		LENHO	54	35	10	1	
		CARVÃO	61	26	9	3	
			MÉDIA	59	32	7	2
10. <i>Pouteria torta</i>		1	LENHO	20	41	31	7
			CARVÃO	34	35	21	10
		2	LENHO	26	30	21	24
	CARVÃO		30	24	20	26	
	3	LENHO	32	20	21	27	
		CARVÃO	34	33	23	10	
			MÉDIA	29	30	23	17

Tabela XIV. Síntese dos caracteres anatômicos quantitativos das espécies analisadas – Diâmetro tangencial (μm) e frequência dos vasos (mm^2)

Espécie	Indiv	LENHO		CARVÃO		Variação (%)	p 1	p 2	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2
		\varnothing vasos (μm)	DP	\varnothing vasos (μm)	DP				Vasos/ mm^2	DP	Vasos/ mm^2	DP		
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1	123 (88-162)	18	97 (60-130)	22	-21	<0.0001	<0.0001	9 (4-12)	2	13 (9-16)	2	0.3918	0.0938
	2	85 (55-101)	12	81 (60-120)	16	-5	0.2400	<0.0001	16 (12-24)	4	20 (17-25)	3	0.3918	0.0938
	3	101 (76-127)	13	92 (70-115)	11	-9	0.0376	<0.0001	17 (20-25)	4	20 (16-25)	3	0.3918	0.0938
<i>Dalbergia violaceae</i>	1	94 (68-136)	17	69 (50-105)	15	-27	<0.0001	<0.0001	21 (12-30)	5	22 (17-33)	6	0.4084	0.0891
	2	99 (67-132)	19	76 (60-95)	9	-23	<0.0001	<0.0001	13 (5-26)	8	19 (10-29)	6	0.4084	0.0891
	3	97 (72-147)	22	75 (60-100)	9	-23	<0.0001	<0.0001	23 (12-39)	11	26 (14-45)	8	0.4084	0.0891
<i>Dimorphandra mollis</i>	1	105 (72-148)	19	72 (50-100)	14	-31	<0.0001	<0.0001	21 (15-29)	5	28 (20-39)	6	0.3207	0.0872
	2	86 (58-118)	16	78 (65-90)	8	-9	0.0281	<0.0001	30 (22-43)	6	37 (27-46)	6	0.3207	0.0872
	3	104 (82-139)	13	74 (60-115)	12	-29	<0.0001	<0.0001	19 (6-32)	10	26 (10-40)	9	0.3207	0.0872
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	1	94 (60-155)	22	78 (55-120)	14	-17	0.0004	<0.0001	18 (14-24)	4	24 (11-32)	6	0.3642	0.0862
	2	103 (60-145)	22	87 (60-125)	18	-16	0.0009	<0.0001	30 (25-34)	3	27 (23-30)	2	0.3642	0.0862
	3	100 (76-141)	15	83 (65-110)	12	-17	0.0006	<0.0001	20 (8-32)	9	22 (10-29)	5	0.3642	0.0862
<i>Caryocar brasiliense</i>	1	85 (45-114)	18	70 (40-100)	15	-18	0.0002	<0.0001	23 (15-31)	5	30 (21-38)	6	0.3778	0.0887
	2	83 (57-120)	15	65 (45-90)	12	-22	<0.0001	<0.0001	31 (22-43)	7	47 (34-54)	6	0.3778	0.0887
	3	86 (58-124)	17	75 (55-100)	12	-13	0.0112	<0.0001	28 (20-34)	5	45 (37-57)	6	0.3778	0.0887
<i>Couepia grandiflora</i>	1	89 (57-146)	19	99 (65-140)	18	+11	0.0198	0.2472	14 (7-20)	4	11 (7-16)	2	0.4337	0.0923
	2	110 (76-137)	14	102 (75-130)	15	-7	0.1062	0.2472	7 (5-12)	2	8 (7-11)	1	0.4337	0.0923
	3	101 (71-127)	16	107 (80-135)	15	+6	0.1953	0.2472	12 (6-17)	4	11 (9-13)	1	0.4337	0.0923
<i>Tapirira guianensis</i>	1	73 (51-98)	13	68 (50-90)	10	-7	0.7472	0.0846	21 (16-27)	4	28 (24-39)	5	0.3227	0.0881
	2	50 (39-65)	8	49 (35-70)	9	-2	0.7472	0.0846	40 (28-53)	9	38 (28-48)	7	0.3227	0.0881
	3	91 (63-118)	13	87 (60-115)	13	-4	0.7472	0.0846	28 (24-32)	2	33 (25-40)	5	0.3227	0.0881
<i>Qualea grandiflora</i>	1	97 (59-114)	15	71 (40-100)	15	-27	<0.0001	<0.0001	20 (16-25)	3	19 (11-24)	5	0.3660	0.0857
	2	82 (57-108)	14	79 (60-100)	10	-4	0.3812	<0.0001	22 (13-33)	7	27 (22-34)	4	0.3660	0.0857
	3	74 (57-90)	9	62 (40-75)	8	-16	<0.0001	<0.0001	24 (11-37)	10	24 (11-37)	8	0.3660	0.0857
<i>Vochysia tucanorum</i>	1	103 (67-139)	20	81 (60-100)	13	-21	<0.0001	<0.0001	15 (12-19)	2	20 (16-25)	3	0.3984	0.0853
	2	104 (81-127)	12	71 (55-90)	11	-32	<0.0001	<0.0001	15 (10-20)	3	15 (11-19)	2	0.3984	0.0853
	3	98 (67-149)	26	90 (65-125)	16	-8	0.0973	<0.0001	17 (8-31)	6	22 (14-31)	6	0.3984	0.0853
<i>Pouteria torta</i>	1	91 (73-159)	18	75 (60-100)	11	-18	<0.0001	<0.0001	25 (19-32)	4	28 (20-34)	5	0.3520	0.0855
	2	115 (88-159)	19	85 (65-120)	14	-26	<0.0001	<0.0001	23 (15-33)	5	31 (21-39)	5	0.3520	0.0855
	3	129 (92-156)	21	114 (75-140)	21	-12	0.0075	<0.0001	17 (11-26)	5	25 (18-28)	3	0.3520	0.0855

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; Variação – porcentagem média de redução (-) ou aumento (+) do diâmetro tangencial dos vasos; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

Tabela XV. Síntese dos caracteres anatômicos quantitativos das espécies analisadas – Diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares (μm) e frequência de raios (mm)

Espécie	Indiv	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2	LENHO		CARVÃO		p 1	p 2
		Ø Pits (μm)	DP	Ø Pits (μm)	DP			Raios/mm	DP	Raios/mm	DP		
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1	4 (3-6)	1	4 (3-6)	1			6 (5-8)	1	7 (6-10)	1		
	2	4 (3-5)	1	4 (3-5)	1	0.3679	0.0833	10 (9-13)	1	11 (9-13)	1	0.0595	0.8266
	3	5 (4-6)	1	5 (4-5)	1			10 (8-11)	1	8 (7-9)	1		
<i>Dalbergia violaceae</i>	1	5 (5-7)	1	6 (4-7)	1			13 (10-15)	2	17 (13-20)	2		
	2	5 (4-6)	1	5 (4-6)	1	0.3679	0.0833	13 (8-16)	2	16 (12-19)	2	0.8116	<0.0001
	3	5 (4-6)	0	5 (4-6)	1			14 (11-16)	2	17 (12-21)	3		
<i>Dimorphandra mollis</i>	1	4 (3-5)	0	4 (3-5)	1			6 (4-9)	2	10 (7-14)	2		
	2	3 (2-5)	1	4 (3-5)	1	0.3679	0.0833	8 (4-10)	2	14 (11-18)	2	0.3992	<0.0001
	3	3 (2-4)	1	3 (2-4)	1			8 (6-9)	1	11 (9-14)	2		
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	1	5 (3-6)	1	6 (5-6)	1			9 (6-12)	2	12 (9-16)	2		
	2	5 (4-6)	1	5 (4-6)	1	0.3679	0.0833	8 (5-11)	2	9 (7-12)	2	0.7447	0.0009
	3	5 (4-6)	1	5 (4-6)	1			9 (6-12)	2	10 (7-14)	2		
<i>Caryocar brasiliense</i>	1	5 (4-6)	1	6 (5-7)	1			14 (12-17)	2	18 (14-20)	2		
	2	6 (4-9)	1	7 (5-8)	1	0.3679	0.0833	14 (11-17)	2	14 (12-17)	2	0.0591	0.0197
	3	6 (6-7)	0	6 (5-7)	1			16 (13-18)	1	16 (12-21)	3		
<i>Couepia grandiflora</i>	1	0	0	0	0			16 (13-18)	2	19 (15-22)	2		
	2	0	0	0	0	0	0	16 (14-18)	1	17 (11-23)	4	0.5623	0.0004
	3	0	0	0	0			15 (10-19)	3	17 (14-20)	2		
<i>Tapirira guianensis</i>	1	5 (4-7)	1	5 (3-6)	1			7 (4-8)	1	9 (6-12)	2		
	2	5 (4-7)	1	5 (3-6)	1	0.3679	0.0833	8 (6-11)	1	13 (10-16)	2	0.1333	<0.0001
	3	5 (4-8)	1	6 (5-7)	1			7 (5-10)	1	8 (6-12)	2		
<i>Qualea grandiflora</i>	1	4 (4-5)	1	5 (4-6)	1			6 (4-8)	1	8 (5-12)	2		
	2	4 (3-4)	0	3 (3-4)	1	0.3679	0.0833	7 (5-9)	1	10 (7-15)	2	0.2262	<0.0001
	3	4 (3-4)	0	4 (3-5)	1			7 (5-10)	1	11 (9-14)	2		
<i>Vochysia tucanorum</i>	1	6 (5-7)	1	5 (4-7)	1			4 (2-5)	1	6 (4-9)	2		
	2	6 (5-7)	0	6 (5-7)	1	0.3679	0.0833	4 (3-4)	0	7 (6-8)	1	0.1295	<0.0001
	3	6 (5-6)	0	5 (4-6)	1			5 (3-6)	1	6 (5-8)	1		
<i>Pouteria torta</i>	1	2 (2-3)	0	2 (1-3)	1			14 (12-16)	1	16 (12-20)	2		
	2	4 (3-5)	1	4 (3-5)	1	0.3679	0.0833	13 (10-14)	1	15 (11-17)	2	0.9997	0.0002
	3	4 (3-5)	1	4 (3-6)	1			11 (8-15)	2	13 (10-17)	2		

Legenda: Indiv – indivíduo; Ø Pits – diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

Tabela XVI. Síntese dos caracteres anatômicos quantitativos das espécies analisadas – Largura e altura dos raios (μm)

Espécie	Indiv	LENHO			CARVÃO			LENHO			CARVÃO		
		Largura Raios (μm)	DP	Raios (μm)	Largura Raios (μm)	DP	Raios (μm)	Altura Raios (μm)	DP	Altura Raios (μm)	DP	Raios (μm)	
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1	61 (49-76)	9	65 (40-75)	10	373 (263-480)	72	391 (225-550)	90	0.6922	0.0147	0.6300	0.5269
	2	27 (22-36)	4	32 (25-40)	5	297 (151-446)	102	268 (145-390)	83	0.6922	0.0147	0.6300	0.5269
	3	30 (22-45)	7	30 (22-45)	6	360 (216-514)	105	336 (245-440)	64	0.6922	0.0147	0.6300	0.5269
<i>Dalbergia violacea</i>	1	30 (20-40)	7	30 (20-42)	6	211 (120-375)	79	176 (92-292)	63	0.3184	0.4401	0.5120	0.2702
	2	19 (13-25)	4	19 (15-25)	4	226 (160-400)	73	200 (114-372)	77	0.3184	0.4401	0.5120	0.2702
	3	39 (29-51)	8	34 (25-40)	6	250 (135-389)	75	260 (170-365)	67	0.3184	0.4401	0.5120	0.2702
<i>Dimorphandra mollis</i>	1	30 (18-40)	7	32 (20-50)	9	240 (90-502)	119	241 (130-410)	89	0.8456	0.1784	0.8237	0.9446
	2	19 (12-28)	6	20 (15-25)	3	267 (107-480)	112	282 (160-425)	82	0.8456	0.1784	0.8237	0.9446
	3	28 (20-41)	6	32 (25-45)	7	246 (168-334)	52	228 (155-310)	50	0.8456	0.1784	0.8237	0.9446
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	1	20 (15-25)	3	17 (10-20)	3	196 (110-310)	68	149 (89-224)	40	0.2724	0.9943	0.5544	0.0046
	2	18 (14-28)	4	20 (15-25)	4	140 (99-218)	34	127 (90-255)	49	0.2724	0.9943	0.5544	0.0046
	3	17 (10-27)	5	19 (15-25)	3	162 (105-226)	38	133 (110-180)	19	0.2724	0.9943	0.5544	0.0046
<i>Caryocar brasiliense</i>	1	34 (23-46)	8	28 (20-35)	5	592 (457-755)	119	566 (395-800)	128	0.0189	0.3136	0.0609	0.0761
	2	29 (21-36)	5	30 (20-40)	6	660 (222-1054)	306	448 (315-625)	106	0.0189	0.3136	0.0609	0.0761
	3	23 (16-29)	4	31 (25-35)	4	411 (284-558)	95	423 (250-620)	126	0.0189	0.3136	0.0609	0.0761
<i>Conopia grandiflora</i>	1	29 (23-37)	5	22 (15-35)	6	508 (298-958)	173	346 (300-400)	37	0.0025	0.0707	0.2822	<0.0001
	2	21 (13-33)	6	23 (15-30)	5	496 (266-847)	162	287 (165-385)	61	0.0025	0.0707	0.2822	<0.0001
	3	22 (14-29)	6	20 (15-30)	5	396 (236-580)	123	291 (210-360)	51	0.0025	0.0707	0.2822	<0.0001
<i>Tapirira guianensis</i>	1	29 (25-30)	2	26 (20-30)	3	343 (270-400)	43	303 (215-370)	56	0.3169	0.8871	0.9281	0.0294
	2	22 (15-28)	4	23 (15-30)	6	276 (172-450)	89	237 (130-330)	63	0.3169	0.8871	0.9281	0.0294
	3	26 (20-33)	4	27 (20-30)	3	385 (261-531)	93	348 (220-445)	69	0.3169	0.8871	0.9281	0.0294
<i>Qualea grandiflora</i>	1	43 (29-58)	11	44 (30-60)	9	278 (124-526)	132	333 (215-410)	82	0.8135	0.9994	0.8293	0.0010
	2	36 (18-49)	10	37 (25-50)	7	231 (201-278)	26	307 (225-380)	45	0.8135	0.9994	0.8293	0.0010
	3	40 (25-60)	10	39 (35-45)	3	269 (175-438)	87	347 (250-450)	84	0.8135	0.9994	0.8293	0.0010
<i>Yochysia tucanorum</i>	1	73 (63-88)	8	54 (45-70)	8	585 (347-1444)	342	456 (260-750)	150	<0.0001	<0.0001	0.0923	0.7839
	2	74 (47-100)	14	57 (40-75)	11	410 (200-535)	117	482 (320-760)	162	<0.0001	<0.0001	0.0923	0.7839
	3	57 (37-70)	10	54 (45-70)	7	517 (316-959)	192	607 (250-910)	164	<0.0001	<0.0001	0.0923	0.7839
<i>Pouteria torta</i>	1	23 (15-31)	5	24 (15-35)	7	349 (200-620)	155	358 (180-586)	126	0.9176	0.2166	0.7623	0.7541
	2	31 (16-40)	6	35 (25-45)	6	332 (232-535)	89	301 (250-400)	48	0.9176	0.2166	0.7623	0.7541
	3	26 (14-39)	8	29 (15-50)	12	342 (216-502)	79	343 (195-600)	127	0.9176	0.2166	0.7623	0.7541

Legenda: Indiv – indivíduo; DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por indivíduo(s) a 5%; p 2 – nível de significância entre carvão e lenho dentro da espécie a 5%.

Tabela XVII. Resultados das médias e desvio padrão das mensurações feitas para lenho e carvão considerando diferentes amostragens e níveis de significância das análises estatísticas realizadas para comparar os dois grupos de amostras – Diâmetro tangencial (μm) e frequência dos vasos (mm^2).

Espécie (Indivíduo)	25 MEDIÇÕES					30 MEDIÇÕES				
	LENHO		CARVÃO		p 1	LENHO		CARVÃO		p 1
	\emptyset vasos (μm)	DP	\emptyset vasos (μm)	DP		\emptyset vasos (μm)	DP	\emptyset vasos (μm)	DP	
<i>Dalbergia violaceae</i> (1)	94 (68-136)	17	69 (50-105)	15	<0.0001	94 (43-145)	23	65 (30-105)	17	<0.0001
<i>Dimorphandra mollis</i> (1)	105 (72-148)	19	72 (50-100)	14	<0.0001	103 (72-148)	18	78 (65-100)	9	<0.0001
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> (2)	103 (60-145)	22	87 (60-125)	18	0.0009	105 (60-145)	22	88 (60-140)	20	0.0018
<i>Caryocar brasiliensis</i> (1)	85 (45-114)	18	70 (40-100)	15	0.0002	87 (45-151)	21	68 (40-100)	15	<0.0001
<i>Tapirira guianensis</i> (2)	50 (39-65)	8	49 (35-70)	9	0.7472	50 (39-73)	8	51 (35-70)	10	0.8800
<i>Qualea grandiflora</i> (1)	97 (59-114)	15	71 (40-100)	15	<0.0001	96 (59-133)	17	72 (40-100)	15	<0.0001
<i>Pouteria torta</i> (1)	91 (73-159)	18	75 (60-100)	11	<0.0001	91 (63-159)	18	76 (55-110)	13	<0.0001
Espécie (Indivíduo)	10 MEDIÇÕES					30 MEDIÇÕES				
	Vasos/ mm^2	DP	Vasos/ mm^2	DP	p 1	Vasos/ mm^2	DP	Vasos/ mm^2	DP	p 1
<i>Dalbergia violaceae</i> (1)	21 (12-30)	5	22 (17-33)	6	0.4084	22 (10-33)	7	23 (12-41)	7	0.7457
<i>Dimorphandra mollis</i> (1)	21 (15-29)	5	28 (20-39)	6	0.3207	21 (15-29)	4	28 (20-39)	5	<0.0001
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> (2)	30 (25-34)	3	27 (23-30)	2	0.3642	30 (19-41)	4	24 (18-30)	4	<0.0001
<i>Caryocar brasiliensis</i> (1)	23 (15-31)	5	30 (21-38)	6	0.3778	23 (11-37)	7	30 (20-44)	6	<0.0001
<i>Tapirira guianensis</i> (2)	40 (28-53)	9	38 (28-48)	7	0.3227	40 (28-55)	8	37 (28-58)	7	0.1518
<i>Qualea grandiflora</i> (1)	20 (16-25)	3	19 (11-24)	5	0.3660	22 (16-34)	3	19 (11-29)	5	0.0178
<i>Pouteria torta</i> (1)	25 (19-32)	4	28 (20-34)	5	0.3520	26 (18-33)	4	33 (20-47)	7	<0.0001

Legenda: DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por espécie (indivíduo) a 5%.

Tabela XVIII. Resultados das médias e desvio padrão das mensurações feitas para lenho e carvão considerando diferentes amostragens e níveis de significância das análises estatísticas realizadas para comparar os dois grupos de amostras – Diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares (μm) e frequência de raios (mm).

Espécie (Indivíduo)	10 MEDIÇÕES					30 MEDIÇÕES				
	LENHO		CARVÃO		LENHO		CARVÃO		DP	p 1
	Ø Pontoação (μm)	DP	Ø Pontoação (μm)	DP	Ø Pontoação (μm)	DP	Ø Pontoação (μm)	DP		
<i>Dalbergia violaceae</i> (1)	5 (5-7)	1	6 (4-7)	1	0.3679	6 (5-7)	1	5 (4-8)	1	0.2480
<i>Dimorphandra mollis</i> (1)	4 (3-5)	0	4 (3-5)	1	0.3679	4 (3-5)	0	4 (3-5)	1	0.0001
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> (2)	5 (4-6)	1	5 (4-6)	1	0.3679	5 (4-6)	1	5 (4-6)	1	0.2981
<i>Caryocar brasiliensis</i> (1)	5 (4-6)	1	6 (5-7)	1	0.3679	6 (4-9)	1	6 (4-9)	1	0.0540
<i>Tapirira guianensis</i> (2)	5 (4-7)	1	5 (3-6)	1	0.3679	5 (3-7)	1	4 (3-6)	1	0.0070
<i>Qualea grandiflora</i> (1)	4 (4-5)	1	5 (4-6)	1	0.3679	5 (4-6)	1	5 (3-6)	1	0.6977
<i>Pouteria torta</i> (1)	2 (2-3)	0	2 (1-3)	1	0.3679	2 (1-3)	0	2 (1-3)	1	0.3790
Espécie (Indivíduo)	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1	Raios/mm	DP	Raios/mm	DP	p 1
<i>Dalbergia violaceae</i> (1)	13 (10-15)	2	17 (13-20)	2	0.8116	13 (7-16)	2	16 (13-20)	2	<0.0001
<i>Dimorphandra mollis</i> (1)	6 (4-9)	2	10 (7-14)	2	0.3992	6 (4-9)	1	12 (7-15)	2	<0.0001
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> (2)	8 (5-11)	2	9 (7-12)	2	0.7447	7 (4-11)	2	9 (5-12)	2	0.0002
<i>Caryocar brasiliensis</i> (1)	14 (12-17)	2	18 (14-20)	2	0.0591	14 (9-17)	2	17 (12-20)	2	<0.0001
<i>Tapirira guianensis</i> (2)	8 (6-11)	1	13 (10-16)	2	0.1333	8 (5-11)	2	15 (10-23)	3	<0.0001
<i>Qualea grandiflora</i> (1)	6 (4-8)	1	8 (5-12)	2	0.2262	6 (3-10)	1	7 (4-12)	2	0.0071
<i>Pouteria torta</i> (1)	14 (12-16)	1	16 (12-20)	2	0.9997	13 (10-16)	2	16 (12-20)	2	<0.0001

Legenda: DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por espécie (indivíduo) a 5%.

Tabela XIX. Resultados das médias e desvio padrão das mensurações feitas para lenho e carvão considerando diferentes amostragens e níveis de significância das análises estatísticas realizadas para comparar os dois grupos de amostras – Largura e altura dos raios (μm).

Espécie (Indivíduo)	10 MEDIÇÕES					30 MEDIÇÕES				
	LENHO		CARVÃO		p 1	LENHO		CARVÃO		p 1
	Largura Raios (μm)	DP	Largura Raios (μm)	DP		Largura Raios (μm)	DP	Largura Raios (μm)	DP	
<i>Dalbergia violaceae</i> (1)	30 (20-40)	7	30 (20-42)	6	0.3184	31 (18-45)	8	32 (20-45)	7	0.8072
<i>Dimorphandra mollis</i> (1)	30 (18-40)	7	32 (20-50)	9	0.8456	31 (18-57)	7	29 (10-55)	12	0.5181
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> (2)	18 (14-28)	4	20 (15-25)	4	0.2724	18 (14-28)	4	22 (15-35)	6	0.0002
<i>Caryocar brasiliensis</i> (1)	34 (23-46)	8	28 (20-35)	5	0.0189	35 (21-55)	9	29 (15-50)	7	0.0017
<i>Tapirira guianensis</i> (2)	22 (15-28)	4	23 (15-30)	6	0.3169	21 (14-28)	4	21 (10-30)	6	0.7141
<i>Qualea grandiflora</i> (1)	43 (29-58)	11	44 (30-60)	9	0.8135	39 (14-81)	16	43 (30-60)	7	0.1944
<i>Pouteria torta</i> (1)	23 (15-31)	5	24 (15-35)	7	0.9176	24 (14-37)	6	25 (15-35)	6	0.5659
Espécie (Indivíduo)	Altura Raios (μm)	DP	Altura Raios (μm)	DP	p 1	Altura Raios (μm)	DP	Altura Raios (μm)	DP	p 1
<i>Dalbergia violaceae</i> (1)	211 (120-375)	79	176 (92-292)	63	0.5120	194 (92-334)	73	217 (100-375)	70	0.2126
<i>Dimorphandra mollis</i> (1)	240 (90-502)	119	241 (130-410)	89	0.8237	226 (90-502)	86	237 (105-440)	84	0.5867
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> (2)	140 (99-218)	34	127 (90-255)	49	0.5544	125 (68-218)	33	124 (60-255)	40	0.9580
<i>Caryocar brasiliensis</i> (1)	592 (457-755)	119	566 (395-800)	128	0.0609	653 (191-1219)	236	780 (325-2050)	384	0.0890
<i>Tapirira guianensis</i> (2)	276 (172-450)	89	237 (130-330)	63	0.9281	274 (160-465)	73	225 (110-330)	60	0.0039
<i>Qualea grandiflora</i> (1)	278 (124-526)	132	333 (215-410)	82	0.8293	241 (85-526)	103	297 (175-410)	77	0.0212
<i>Pouteria torta</i> (1)	349 (200-620)	155	358 (180-586)	126	0.7623	334 (112-657)	127	364 (140-800)	153	0.3862

Legenda: DP – desvio padrão; p 1 – nível de significância entre carvão e lenho por espécie (indivíduo) a 5%.

7. DISCUSSÃO

Este trabalho é inédito no Brasil. A maioria das espécies analisadas não possui referências bibliográficas sobre a anatomia do lenho tão pouco sobre o carvão. Apenas para as espécies *Copaifera langsdorffii* e *Tapirira guianensis* foram encontradas descrições anatômicas na literatura, existindo para *C. langsdorffii* descrições do lenho (RICHTER & DALLWITZ, 2000; MARCATI *et al.*, 2001; MILLER, 2007), e para *T. guianensis* descrições tanto do lenho (MAINIERI, 1958; KRIBS, 1968; DETIENNE & JACQUET, 1983; TERRAZAS, 1994; RICHTER & DALLWITZ, 2000; WHEELER & MANCHESTER, 2002; LEÓN & WILLIAMS, 2003) quanto do carvão (GONÇALVES, 2006). Em todos os casos, serão discutidas as diferenças encontradas na bibliografia com relação às espécies analisadas; para todas as demais características, quando não ressaltadas significa que há concordância com o presente estudo.

As descrições previamente publicadas para o lenho de *Copaifera langsdorffii* (RICHTER & DALLWITZ, 2000; MARCATI *et al.*, 2001; MILLER, 2007) são semelhantes, qualitativa e quantitativamente, ao obtido para as amostras descritas no presente estudo.

A comparação da estrutura anatômica do lenho com o lenho carbonizado de *C. langsdorffii* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** foi reduzido significativamente com a carbonização na maioria dos indivíduos, permanecendo semelhante somente no indivíduo 2; (ii) a **frequência dos vasos** não foi

significativamente diferente nos três indivíduos nem para a espécie; (iii) o **diâmetro tangencial da abertura das pontoações** não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** se manteve semelhante estatisticamente; (v) a **largura dos raios** se manteve semelhante entre os indivíduos; a significância estatística para uma redução dos raios dentro da espécie pode ser explicada pela relação entre os raios mais largos do indivíduo 1 e os raios mais estreitos dos demais indivíduos; (vi) a **altura dos raios** se manteve semelhante estatisticamente; (vii) as **características dos carvões** se mantiveram semelhantes às do lenho, com boa qualidade, sem deformações aparentes nem fendas de retração.

Várias espécies do gênero *Dalbergia* foram estudadas por diversos autores, destacando-se *D. baronii*, descrita para a África tropical (LEMMENS, 2007), *D. cochinchinensis*, para o sudeste da Ásia e Pacífico (KRIBS, 1968; QUIRK, 1983), assim como *D. cearensis* (DETIENNE & JACQUET, 1983; NARDI & ABBATE, 1992), *D. decipularis* (DETIENNE & JACQUET, 1983; NARDI & ABBATE, 1992; RICHTER & DALLWITZ, 2000), *D. frutescens* (DETIENNE & JACQUET, 1983), *D. nigra* (DETIENNE & JACQUET, 1983; MILLER & WIEMANN, 2006), *D. retusa* (KRIBS 1968; RICHTER & DALLWITZ, 2000) e *D. spruceana* (DETIENNE & JACQUET, 1983; RICHTER & DALLWITZ, 2000; MILLER & WIEMANN, 2006), todas elas ocorrentes no Brasil. Nestas espécies, algumas características divergiram do encontrado para a espécie *D. violacea*, aqui estudada, tais como: i) camadas semi-porosas podendo ocorrer em *D. cearensis* e *D. decipularis*; ii) camadas de crescimento ausentes ou indistintas em *D. cearensis*, *D. cochinchinensis*, *D. decipularis*, *D. frutescens* e *D. spruceana*; iii) diâmetro tangencial dos vasos maior (acima de 200 μm) em *D. cochinchinensis*; iv) frequência dos vasos menor em *D. baronii* (menos que 5 vasos/ mm^2); v) raios exclusivamente 1-seriados em *D. cochinchinensis*; vi) raios com todas as células procumbentes em todas as espécies, ocorrendo também raios com células procumbentes e uma fileira marginal de células eretas e/ou quadradas em *D. decipularis*, *D. retusa* e *D. spruceana*; vii) cristais prismáticos presentes em *D. baronii*; *D. cearensis*; *D. cochinchinensis*; *D. decipularis*; *D. frutescens*; *D. nigra* e *D. retusa*.

A comparação da estrutura anatômica entre lenho e carvão de *D. violacea* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** reduziu significativamente em todos os indivíduos e, conseqüentemente, dentro da espécie; (ii) a **frequência dos vasos** não foi alterada significativamente; (iii) o **diâmetro tangencial da abertura das**

pontoações não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** aumentou de 3 a 4 raios por mm ao se considerar a média dos indivíduos, o que não foi significativo estatisticamente; a significância estatística para redução dos raios dentro da espécie pode ser explicada pelas diferenças entre os três indivíduos; (v) a **largura dos raios** se manteve semelhante estatisticamente; (vi) a **altura dos raios** se manteve semelhante estatisticamente; (vii) as **características dos carvões** mantiveram-se semelhantes às do lenho, com boa qualidade, sem deformações aparentes nem fendas de retração.

No gênero *Dimorphandra*, foram encontradas descrições anatômicas para *D. conjugata* (MILLER & DÉTIENNE, 2001), *D. davisii* (MILLER 2007), *D. macrostachya* (DETIENNE & JACQUET, 1983; ESPINOZA de PERNÍIA & MELANDRI, 2006) e *D. polyandra* (DETIENNE & JACQUET, 1983; MILLER & DÉTIENNE, 2001), todas ocorrentes no Brasil. Nestas espécies, poucas características divergiram do encontrado para a espécie *D. mollis*, aqui estudada, em particular: i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas em *D. conjugata*, *D. davisii* e *D. polyandra*; ii) frequência dos vasos menor (menos de 5 vasos/mm²) em *D. conjugata*, *D. polyandra*; iii) raios exclusivamente 1-seriados em *D. conjugata*; iv) estrutura estratificada presente em *D. davisii*.

A comparação da estrutura anatômica entre lenho e carvão de *D. mollis* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** reduziu significativamente em todos os indivíduos e, conseqüentemente, dentro da espécie; (ii) a **frequência dos vasos**, embora tenha aumentado em relação às médias, não foi significativamente alterada nos três indivíduos nem dentro da espécie; (iii) o **diâmetro tangencial da abertura das pontoações** não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** aumentou em relação as médias, mas só foi alterada significativamente dentro da espécie; (v) a **largura dos raios** se manteve semelhante estatisticamente; (vi) a **altura dos raios** se manteve semelhante estatisticamente; (vii) em relação às **características dos carvões**, somente o indivíduo 1 apresentou algumas fendas de retração e deformações nas paredes dos vasos.

No gênero *Stryphnodendron*, apenas as espécies amazônicas *S. polystachyum* e *S. paniculatum* (DETIENNE & JACQUET, 1983) foram estudadas, diferindo de *S. polyphyllum* nas seguintes características: i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas; ii) vasos de dois tamanhos distintos, não sendo ser anel poroso; iii) maior diâmetro tangencial dos vasos (100-200 µm); iii) raios exclusivamente 1-seriados em *S. paniculatum*; iv) cristais prismáticos em câmaras no parênquima axial.

A comparação entre lenho e carvão de *S. polyphyllum* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** reduziu significativamente em todos os indivíduos e, conseqüentemente, dentro da espécie; (ii) a **frequência dos vasos** não foi alterada estatisticamente; (iii) o **diâmetro tangencial da abertura das pontoações** não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** aumentou de 1 a 3 raios por mm dentro de cada indivíduo, mas só foi significativa ao se considerar a espécie; (v) a **largura dos raios** reduziu significativamente apenas no indivíduo 1; (vi) a **altura dos raios** não se alterou estatisticamente nos três indivíduos, mas houve redução significativa ao se considerar a espécie; (vii) as **características dos carvões** se mantiveram, grosso modo, de boa qualidade, contudo o indivíduo 1 apresentou várias fendas de retração nos raios e o indivíduo 3 apenas uma; além disso, a diferenciação das bandas de fibras semelhantes ao parênquima, que normalmente é bem visível no carvão, foi praticamente imperceptível em *S. polyphyllum*.

No gênero *Caryocar*, é conhecida a anatomia do lenho das espécies *C. costaricense* e *C. villosum*, ocorrentes nas Américas do Sul e Central (KRIBS, 1968), *C. coccineum*, *C. glabrum* e *C. villosum*, descritas para a Amazônia (DÉTIENNE & JACQUET, 1983), as quais apresentam algumas características divergentes do encontrado para *C. brasiliense*, tais como: i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas em todas as espécies; ii) maior diâmetro tangencial dos vasos (acima de 200 µm) em todas as espécies; iii) menor frequência de vasos (abaixo de 5 até 20 vasos/mm²) em todas as espécies; iv) tiloses ausentes em *C. costaricense* e *C. villosum*; v) acima de 8 células por série de parênquima em *C. costaricense* e *C. villosum*.

A comparação da estrutura anatômica entre lenho e carvão de *C. brasiliense* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** foi reduzido no carvão nos três indivíduos e, conseqüentemente, na espécie; (ii) a **frequência dos vasos** aumentou visivelmente em todos os indivíduos, contudo este aumento não foi significativo estatisticamente; (iii) o **diâmetro tangencial da abertura das pontoações** não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** aumentou significativamente somente dentro da espécie e não por indivíduo; (v) a **largura dos raios** reduziu nos indivíduos 1 e 3, se manteve no indivíduo 2, mas não houve variação significativa dentro da espécie; (vi) a **altura dos raios** não se alterou estatisticamente, sendo um parâmetro difícil de se quantificar devido à predominância de raios fusionados; (vii) as **características dos carvões** se mantiveram com boa qualidade; a

presença de algumas fendas de retração nos raios, no parênquima axial e na parede de alguns vasos não prejudicou a identificação da estrutura nem, tampouco, a mensuração dos caracteres quantitativos.

Apenas uma descrição genérica para *Couepia* foi encontrada, baseada na análise das espécies amazônicas *C. caryophylloides*, *C. multiflora* e *C. guianensis* (DÉTIENNE & JACQUET, 1983), a qual apresenta algumas características divergentes do encontrado para *C. grandiflora*, como: i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas em todas as espécies; ii) maior diâmetro tangencial dos vasos (acima de 200 μm); iii) raios com corpo formado por células procumbentes e 1-4 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas; iv) presença de corpos silicosos nas células de raio.

A comparação da estrutura anatômica entre lenho e carvão de *C. grandiflora* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** reduziu significativamente apenas no indivíduo 1, mantendo-se semelhante nos outros indivíduos e dentro da espécie; (ii) a **frequência dos vasos** se manteve semelhante; (iii) **o diâmetro tangencial da abertura das pontoações** não foi considerado, pois mais de 90% dos vasos são solitários, (iv) a **frequência dos raios** aumentou estatisticamente somente ao se considerar a espécie; (v) a **largura dos raios** reduziu significativamente apenas no indivíduo 1; (vi) a **altura dos raios** se manteve semelhante nos três indivíduos, mas apresentou redução significativa dentro da espécie; (vii) as **características dos carvões** se mantiveram semelhantes às do lenho, com boa qualidade, sem deformações aparentes nem fendas de retração.

A anatomia do lenho de *Tapirira guianensis* foi descrita por Mainieri (1958), Kribs (1968), Détienne & Jacquet (1983) e Richter & Dallwitz (2000), todas ocorrentes no Brasil ou nas Américas. As descrições destes autores divergem do encontrado para *T. guianensis* nas seguintes características: i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas; ii) maior diâmetro tangencial dos vasos (100-200 μm); iii) menor frequência de vasos (5 a 20 vasos/mm). Amostras de carvão de *T. guianensis* de Santa Catarina e Alagoas foram analisadas por Gonçalves (2006), sendo identificadas diferenças apenas em relação a i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas e ii) presença de espessamento espiralado.

A comparação da estrutura anatômica entre lenho e carvão de *T. guianensis* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** se manteve semelhante; (ii) a **frequência dos vasos** não variou significativamente; (iii) o **diâmetro tangencial**

da abertura das pontoações não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** aumentou de 1 a até 5 raios na média nos três indivíduos, mas só houve significância estatística para este aumento dentro da espécie; (v) a **largura dos raios** se manteve semelhante; (vi) a **altura dos raios** se manteve semelhante nos três indivíduos, mas reduziu significativamente dentro da espécie; (vii) as **características dos carvões** permaneceram semelhantes e de boa qualidade nos indivíduos 2 e 3, por outro lado, o indivíduo 1 apresentou várias fendas de retração e se deformou bastante, principalmente no plano transversal.

No gênero *Qualea*, foram avaliadas descrições anatômicas para as espécies *Q. albiflora*, *Q. amoena*, *Q. caerulea*, *Q. cordata*, *Q. cryptantha*, *Q. cymulosa*, *Q. dinizii*, *Q. ingens* e *Q. rosea* (DÉTIENNE & JACQUET, 1983), assim como para *Q. albiflora*, *Q. cordata*, *Q. cryptantha*, *Q. ingens* e *Q. trichantera*, todas elas provenientes da Amazônia e Guiana (QUIRK, 1980). As divergências encontradas em relação a *Qualea grandiflora* foram: i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas em todas as espécies, exceto *Q. ingens* e *Q. trichantera* (QUIRK, 1980); ii) ausência de septos nas fibras de todas as espécies, exceto *Q. trichantera* (QUIRK, 1980); iii) raios 4-10 seriados em *Q. cordata*, *Q. cryptantha*, *Q. cymulosa* e *Q. dinizii* (DÉTIENNE & JACQUET, 1983).

A comparação da estrutura anatômica entre lenho e carvão de *Q. grandiflora* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** reduziu significativamente nos indivíduos 1 e 3, se manteve semelhante no indivíduo 2, e houve redução dentro da espécie; (ii) a **frequência dos vasos** se manteve estatisticamente semelhante; (iii) a **abertura das pontoações** não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** aumentou de 2 a 4 raios por mm na média, nos três indivíduos, o que não foi estatisticamente significativo; ainda assim, dentro da espécie o aumento foi estatisticamente significativo; (v) a **largura dos raios** se manteve estatisticamente semelhante; (vi) a **altura dos raios** se manteve significativamente semelhante nos três indivíduos, mas houve aumento ao se considerar a espécie, o que pode ser atribuído ao local e número das medições; (vii) as **características dos carvões** se mantiveram semelhantes às do lenho, com boa qualidade dos caracteres qualitativos e sem fendas de retração.

Existem muitas descrições anatômicas para o gênero *Vochysia*, destacando-se as espécies *V. ferruginea* (METCALFE & CHALK, 1950; PADT-REFORT, 1981); *V. guianensis*, *V. hondurensis* (KRIBS, 1968; PEREZ OLVERA *et*

al., 1980; NARDI BERTI & EDLMANN ABBATE, 1992); *V. lanceolata* (KRIBS, 1968; PADT-REFORT, 1981); *V. schomburgkii* e *V. tetraphylla* (MOGOLLON, 1981; MILLER & DÉTIENNE, 2001), todas referenciadas para as Américas do Sul e Central. Além destas espécies, foram feitas descrições genéricas para espécies amazônicas (*V. tetraphylla*, *V. densiflora*, *V. duquei*, *V. expansa*, *V. floribunda*, *V. glaberrima*, *V. maxima*, *V. neyratii*, *V. schomburgkii*, *V. surinamensis* e *V. vismiifolia*) (*Vochysia* spp.1 – DÉTIENNE & JACQUET, 1983); e para 97 espécies provenientes do Sudeste do México (Península de Yucatan), sul da América Central, Leste dos Andes, Brasil e Guianas (*Vochysia* spp.2 – QUIRK 1980). As divergências encontradas em relação a *V. tucanorum* foram: i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas em todas as espécies; ii) vasos em duas classes de diâmetro sem ser anel poroso em *Vochysia* spp.1 e *Vochysia* spp.2; iii) vasos com diâmetro tangencial acima de 200 µm em *Vochysia* spp.1; iv) pontoações raio-vasculares com aréolas muito reduzidas a aparentemente simples, em disposição horizontal e vertical, assim como restritas às fileiras marginais dos raios em *V. guianensis* e *V. hondurensis*; v) raios de dois tamanhos distintos em *V. ferruginea*, *V. guianensis*, *V. hondurensis*, *V. schomburgkii* e *V. tetraphylla*.

A comparação da estrutura anatômica entre lenho e carvão de *V. tucanorum* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** reduziu nos indivíduos 1 e 2, não se alterou significativamente no indivíduo 3, mas reduziu dentro da espécie; (ii) a **frequência dos vasos** se manteve estatisticamente semelhante; (iii) o **diâmetro tangencial da abertura das pontoações** não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** aumentou de 1 a 3 raios por mm, na média, por indivíduo, sendo um aumento significativo somente dentro da espécie; (v) a **largura dos raios** reduziu nos indivíduos 1 e 2, não se alterou significativamente no indivíduo 3 e reduziu dentro da espécie; neste caso, percebe-se claramente que os indivíduos apresentando raios multiseriados mais largos (1 e 2) foram os que mais sofreram redução com o processo da carbonização; (vi) a **altura dos raios** se manteve semelhante; (vii) as **características dos carvões** apresentaram boa qualidade, mantendo inclusive o formato dos canais traumáticos e várias células epiteliais intactas; raras fendas de retração ocorreram, somente no indivíduo 3.

Muitas espécies de *Pouteria* foram estudadas por diversos autores: *P. ambelaniifolia* (1) (KUKACHKA, 1979), *P. attenuata* (2), *P. egregia* (3), *P. gomphiifolia* (4) (KUKACHKA, 1980); *P. eugeniifolia* (5) (KUKACHKA, 1981), *P. minutiflora*, *P. orinocoensis* e *P. scytalophora* (6), *P. pariry* (7) (KUKACHKA, 1982),

P. cuprea (8), *P. engleri* (9), *P. melinoniana* (10), *P. trigonosperma* (11) (DETIENNE & JACQUET, 1983), *P. benai* (12), *P. cladantha* (13) (KUKACHKA, 1979; DETIENNE & JACQUET, 1983), *P. macrocarpa* (14), *P. macrophylla* (15) (KUKACHKA, 1982; DETIENNE & JACQUET, 1983), *P. speciosa* (16) (KUKACHKA, 1982; MILLER & DETIENNE, 2001), *P. sapota* (17) (DETIENNE & JACQUET, 1983; BARAJAS-MORALES et al., 1997), *P. cuspidata* (18) (MILLER & DETIENNE, 2001), *P. guianensis* (19) (KRIBS, 1968; DETIENNE & JACQUET, 1983; MILLER & DETIENNE, 2001), *P. mammosa* (20) (PEREZ OLVERA et al., 1980), todas neotropicais, ocorrendo na América do Sul, e muitas das quais foram descritas para a região amazônica; *P. campechiana* (21) e *P. durlandii* (22) (BARAJAS-MORALES et al., 1997), descritas para o México, e *P. pentasperma* (23) (METCALFE & CHALK, 1950), referenciada como neotropical, do México e América Central.

As descrições anatômicas destas espécies diferem pouco do observado para *P. torta*, aqui estudada, destacando-se em particular as seguintes características: i) camadas de crescimento ausentes ou indistintas em todas as espécies; ii) placa de perfuração escalariforme em 16; iii) tiloses escleróticas em 3, 4, 5, 12, 13, 18 e 19; iv) raios exclusivamente uniseriados em 13, 19, 21 e 22; v) raios largos (4-10-seriados) em 7; vi) 4-12 raios/mm em 9, 10, 11, 12, 13 e 16; vii) raios com porção multiseriada da mesma largura que a porção uniseriada em 12, 13, 14, 18, 20 e 23; viii) raios com altura acima de 1 mm em 20, 21, 22 e 23; ix) presença de cristais em 8, 12 e 23.

A comparação da estrutura anatômica entre lenho e carvão de *P. torta* mostrou que: (i) o **diâmetro tangencial dos vasos** reduziu significativamente em todos os indivíduos e, conseqüentemente, dentro da espécie; (ii) a **frequência dos vasos** aumentou nos três indivíduos, mas não variou significativamente em cada um deles nem dentro da espécie; (iii) o **diâmetro tangencial da abertura das pontoações** não se alterou estatisticamente; (iv) a **frequência dos raios** aumentou de 2 raios por mm na média de todos os indivíduos, alteração que não foi significativa por indivíduo, mas sim dentro da espécie; (v) a **largura dos raios** não se alterou significativamente; (vi) a **altura dos raios** se manteve semelhante; (vii) as **características dos carvões** se mantiveram semelhantes às do lenho, com boa qualidade dos caracteres qualitativos e sem fendas de retração.

As características anatômicas de todas as espécies analisadas estão, de modo geral, de acordo com as descrições encontradas na literatura (e.g.

MAINIERI, 1958; KRIBS 1968; QUIRK, 1980; KUKACHKA, 1982; DETIENNE & JACQUET, 1983; RICHTER & DALLWITZ, 2000; MILLER & DÉTIENNE, 2001) para espécies pertencentes ao mesmo gênero, o que confirma o caráter conservativo de muitas características presentes no lenho. As principais divergências encontradas referem-se aos caracteres que variam pela influência de fatores ambientais. As camadas de crescimento, especialmente aquelas demarcadas por camadas semi-porosas, raramente ocorrem em ambientes tropicais úmidos (WHEELER *et al.*, 2007). De acordo com um estudo que avaliou o tipo de marcador das camadas de crescimento em 48% de 491 espécies tropicais e subtropicais do Brasil, constatou-se que as camadas são comumente demarcadas por faixas marginais de parênquima axial, parênquima radial distendido, fibras com o diâmetro reduzido e/ou paredes celulares mais espessas, zonas fibrosas, porosidade em anel semi-poroso (ALVES & ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000). Outro estudo com 48 espécies representativas do cerrado paulista, avaliou-se que 94% das amostras possuem camadas de crescimento delimitadas por fibras de paredes espessas, fibras achatadas radialmente e faixas marginais de parênquima axial delimitando as camadas de crescimento (MARCATI *et al.*, 2006). A formação das camadas de crescimento em espécies tropicais é induzida por uma estação seca com período de 2-3 meses e precipitação inferior a 60 mm (WORBES, 1995), sendo que no cerrado a grande ocorrência de espécies com camadas de crescimento pode estar relacionada a uma estação seca anual distinta em São Paulo que dura de um a quatro meses (MARCATI *et al.*, 2006).

O diâmetro tangencial e a frequência dos vasos são caracteres taxonômicos importantes, mas, dentro de certos limites, também são influenciados por fatores ecológicos relacionados à disponibilidade hídrica (CARLQUIST, 2001). A presença de cristais, por sua vez, embora possam ser caracteres taxonomicamente importantes, é influenciada por fatores relacionados ao ambiente (e.g. regulação de cálcio na planta e desintoxicação de metais pesados) e, principalmente, como defesa contra a herbivoria (CARLQUIST, 2001; EVERT, 2006; FRANCESCHI & NAKATA, 2005). No caso das tiloses, cuja ausência não é de valor diagnóstico para a identificação de espécies (IAWA COMMITTEE, 1989), e a presença é influenciada por fatores intrínsecos à planta, como inatividade dos vasos, perda de pressão hídrica, controle hormonal, ferimentos, infecção por patógenos (CARLQUIST, 2001; EVERT, 2006).

Outras diferenças verificadas pela comparação entre o que foi analisado no lenho das espécies do presente estudo e o descrito na literatura, como seriação dos raios, fibras septadas e estrutura estratificada possuem poucosignificado ecológico, mas são atributos específicos, e sua variação dentro do mesmo gênero é bastante normal (METCALFE & CHALK, 1950; CARLQUIST, 2001).

Entretanto, a característica de raios formados por células procumbentes, eretas e quadradas misturadas no lenho de *Dalbergia violacea* diverge do que está descrito na literatura consultada (KRIBS, 1968; DETIENNE & JACQUET, 1983; QUIRK, 1983; NARDI & ABBATE, 1992; RICHTER & DALLWITZ, 2000; MILLER & WIEMANN, 2006; LEMMENS, 2007). Segundo estes autores, os raios do lenho de *Dalbergia* são formados somente por células procumbentes, ou por células procumbentes no corpo dos raios e uma fileira marginal de células eretas e/ou quadradas.

Desintegração dos grãos de amido e alterações na parede das células foram as características que ocorreram devido a carbonização em todas as espécies analisadas. A parede celular adquiriu uma aparência homogênea e amorfa nos carvões perdendo a distinção das suas camadas, tal como já foi evidenciado por trabalhos anteriores (ver MCGINNES *et al.*, 1971; PRIOR & ALVIN, 1983; PRIOR & GASSON, 1993; KIM & HANNA, 2006; KWON *et al.*, 2009).

Os vasos foram os constituintes do lenho que mais se alteraram com a carbonização (Tabela XIV). O diâmetro tangencial dos vasos foi reduzido significativamente em mais de 70% do material analisado (redução média de 17%, variando de apenas 2% em *Tapirira guianensis*, a 32% em *Vochysia tucanorum*). Este resultado foi idêntico nos dois conjuntos de mensurações realizados, sejam as 25 medidas recomendadas pelo IAWA Committee (1989) (Tabela II a Tabela XI), sejam as 30 mensurações realizadas em sete indivíduos (Tabela XVII). Assim, pode se perceber claramente o padrão anisotrópico de contração do lenho, que apresenta maior contração no sentido tangencial (MCGINNES *et al.*, 1971; PRIOR & GASSON, 1993; KWON *et al.*, 2009).

Apesar da redução significativa no diâmetro tangencial dos vasos, sua frequência não variou significativamente em nenhuma das espécies. De modo geral, ao se considerar os indivíduos, foi observado um aumento de frequência média, que variou de 1 vaso por mm² (indivíduo 2 de *Couepia grandiflora*) até 17 vasos por mm² (indivíduo 3 de *Caryocar brasiliense*). Em dois casos, no entanto, a frequência

média dos vasos diminuiu nos carvões (indivíduo 3 de *C. grandiflora* e indivíduo 2 de *Tapirira guianensis*), de 1 a 2 vasos por mm². Este resultado foi obtido a partir da análise das 10 mensurações recomendadas pelo IAWA Committee (1989) (Tabela II a Tabela XI), Quando se consideram as análises baseadas em 30 medições (Tabela XVII), no entanto, o aumento da frequência de vasos foi significativo em 5 das 7 espécies analisadas, permanecendo não significativo apenas em *Dalbergia violaceae* e *T. guianensis*.

Como todas as amostras carbonizadas apresentaram homogeneização da parede celular dos vasos, tal como foi comentado anteriormente para o comportamento da parede celular devido a carbonização, a câmara da pontuação tornou-se indistinta, observando-se assim apenas o diâmetro tangencial da abertura das pontuações intervasculares. Na maioria das amostras analisadas, este diâmetro foi mantido, não acompanhando a redução do diâmetro tangencial dos vasos, nem respondendo significativamente à carbonização. Estes resultados foram semelhantes para o conjunto de 10 medições (Tabela II a Tabela XI) e para o conjunto de 30 medições (Tabela XVIII). Entretanto, com a análise das 30 medições nas espécies *Dimorphandra mollis* e *Tapirira guianensis*, apesar das médias e variação das mensurações serem virtualmente idênticas nos dois conjuntos de medidas, a análise das 30 medições identificou uma variação significativa no diâmetro tangencial das aberturas das pontuações. Aparentemente, a análise baseada em 30 medidas mostrou-se mais sensível, indicando uma diferença significativa entre o lenho e o carvão a partir de um desvio-padrão de apenas 1 µm, entretanto, esta variação não é de significativa taxonomicamente tão pouco como um parâmetro de identificação.

A frequência dos raios foi maior nos carvões na maioria dos indivíduos analisados, variando de 0 a 6 raios por mm, mas este aumento, a se considerar o conjunto de 10 mensurações recomendado pelo IAWA Committee (1989), não foi estatisticamente significativo em nenhum indivíduo (Tabela II a Tabela XI). Por outro lado, este mesmo aumento foi significativo para 90 % das espécies, o que pode ser atribuído à diferença na quantidade de raios entre os indivíduos, pois a avaliação feita para a espécie considera os três indivíduos analisados e, portanto, pequenas diferenças entre os indivíduos podem resultar em diferenças significativas para a espécie. Apenas *Copaifera langsdorfii* manteve uma frequência de raios semelhante. No entanto, no conjunto de 30 mensurações todos os indivíduos das sete espécies analisadas

apresentaram aumento significativo da frequência dos raios no carvão (Tabela XVIII), comprovando assim de maneira mais efetiva a contração tangencial no carvão.

A largura dos raios foi um parâmetro que variou bastante. Considerando o conjunto de 10 medições (Tabela II a Tabela XI), esta largura: (i) se manteve nas espécies e em todos os indivíduos de *Dalbergia violaceae*, *Dimorphandra mollis*, *Tapirira guianensis*, *Qualea grandiflora* e *Pouteria torta*; (ii) se manteve em todos os indivíduos de *Copaifera langsdorfii*, mas devido à diferença entre a largura dos raios do indivíduo 1 e os demais, foi reduzida ao se considerar a espécie; (iii) reduziu-se apenas em um indivíduo de *Stryphnodendron polyphyllum* (indivíduo 1), *Caryocar brasiliense* (indivíduos 1) e *Couepia grandiflora* (indivíduo 1), mas tal redução não foi significativa dentro de nenhuma destas três espécies; (iv) reduziu-se em alguns indivíduos e dentro da espécie *Vochysia tucanorum* (indivíduo 1 e 2), na qual foi evidenciada uma maior contração em raios mais largos. Ao se considerar o conjunto de 30 medições (Tabela XIX), apenas as espécies *S. polyphyllum* e *C. brasiliensis* tiveram a largura de seus raios reduzidos significativamente.

Houve contração nos raios nos indivíduos de *V. tucanorum*, entretanto, os indivíduos que apresentaram raios mais largos sofreram maior contração na carbonização do que aqueles com os raios mais estreitos. Nas outras espécies deste estudo tal comportamento não foi observado, portanto, a contração dos raios mais largos devido a carbonização não pode ser tomada como regra. As outras espécies de raios relativamente largos, como *C. langsdorfii* e *Q. grandiflora*, não tiveram redução significativa no carvão. Entretanto, um único caso (indivíduo 3 de *C. brasiliensis*) foi a ocorrência de uma expansão significativa da largura dos raios no carvão, comportamento ainda não relatado na literatura. Uma expansão atípica das células de raio devido à liberação dos gases durante a carbonização pode ser sugerida. Estudos posteriores são necessários para se avaliar melhor este resultado.

A altura dos raios não variou significativamente nos indivíduos analisados. No entanto, ao se considerar tal variação nas espécies, verificou-se uma redução (*Stryphnodendron polyphyllum*, *Couepia grandiflora*, *Tapirira guianensis*) ou aumento (*Qualea grandiflora*) significativos da altura dos raios em algumas delas no conjunto de 10 medições (Tabela II a Tabela XI). Tomando-se o conjunto de 30 medições, houve redução significativa da altura dos raios apenas em *T. guianensis*, e aumento em *Q. grandiflora* (Tabela XIX). Esta variação, no entanto, não é decorrência do processo de carbonização, mas pode ser atribuída à diferença de altura dos raios

entre os três indivíduos analisados em cada espécie. Estes resultados demonstram que a altura dos raios é um parâmetro pouco significativo na avaliação das modificações anatômicas decorrentes da carbonização, o que é uma consequência da menor contração no sentido longitudinal do lenho (MCGINNES *et al.*, 1971; BEALL *et al.*, 1974; SLOCUM *et al.*, 1978; KIM & HANNA, 2006), mas também da elevada variabilidade deste parâmetro dentro das espécies e, principalmente, dentro de cada indivíduo, resultando num elevado desvio padrão tanto no lenho quanto no carvão. A grande variabilidade deste parâmetro não foi observada por Prior & Gasson (1993), que encontraram redução significativa da altura dos raios em quatro das seis espécies analisadas por eles.

Uma hipótese que poderia explicar a maior ou menor contração das estruturas celulares no carvão seria a de que a abundância de células parenquimáticas, de parede fina, resultaria num aumento da contração volumétrica do carvão. Note-se, neste sentido, que as espécies que tiveram maior contração do diâmetro tangencial dos vasos foram *Dimorphandra mollis* (23% em média), *Dalbergia violacea* (21%), *Qualea grandiflora* (16%) e *Vochysia tucanorum* (20%) (Tabela XIV), que são, justamente, as espécies analisadas apresentando maior abundância de parênquima. Ao contrário, a raridade do parênquima axial pode ter influenciado na manutenção do diâmetro dos vasos em *Tapirira guianensis*, que foi a espécie onde este parâmetro apresentou menor variação (4%). Entretanto, esta observação não pode ser tomada como regra, pois a espécie *Couepia grandiflora*, por exemplo, que possui grande quantidade de parênquima, não sofreu modificações significativas em sua estrutura, tendo sido inclusive a única na qual os vasos sofreram expansão. Contudo, qualitativamente, o parênquima axial manteve, no carvão, características semelhantes às do lenho, ao contrário do relatado por Prior & Gasson (1993), que descreveram uma expansão das células parenquimáticas de todas as espécies analisadas. Kim & Hanna (2006), por sua vez, relataram uma contração das células do parênquima axial de acordo com o aumento da temperatura, sugerindo que as paredes mais finas das células parenquimáticas poderiam influenciar na redução na dimensão das mesmas.

Conforme já comentado anteriormente, as fibras dos carvões perderam a típica distinção das camadas das paredes celulares que estão presentes no lenho. As fibras gelatinosas tiveram sua camada interna (gelatinosa) contraída e nitidamente separada da camada externa. Observações semelhantes foram previamente relatadas por vários autores (MCGINNES *et al.*, 1971; BEALL *et al.*, 1974; PRIOR &

ALVIN, 1983; PRIOR & GASSON, 1993; KIM & HANNA, 2006; KWON *et al.*, 2009). No entanto, ao contrário do relatado por Prior & Alvin (1983) e Prior & Gasson (1993), que avaliaram que as fibras não gelatinosas contraem mais que as gelatinosas e que as fibras não gelatinosas, de paredes mais espessas, são as que mais contraem na carbonização, não foi observado neste trabalho.

Os resultados apresentados acima mostram que a carbonização a 400°C resultou apenas em pequenas modificações entre a estrutura original do lenho e dos carvões. Embora alguns caracteres quantitativos tenham variado entre lenho e carvão, a única variação sistemática foi a redução do diâmetro tangencial dos vasos, que ocorreu em todas as espécies. Não foram verificados padrões de modificações estruturais entre as espécies, entretanto, observou-se que espécies com abundância de parênquima axial, poderiam estar associadas ao aparecimento de deformações, à ocorrência de fendas de retração ou a uma maior contração tangencial dos carvões. Da mesma forma, a frequência de fibras gelatinosas poderia minimizar a contração, influenciando nas modificações estruturais. Entretanto, tais variações não foram observadas neste trabalho, pois muitas vezes indivíduos e espécies apresentando caracteres semelhantes tiveram respostas diferentes à carbonização.

Os resultados do presente trabalho demonstram que as variações morfométricas entre lenho e carvão não são um fator limitante para a identificação das espécies, pois a ordem de grandeza destas variações é semelhante ao que ocorre entre indivíduos da mesma espécie, ou por razões intrínsecas ao indivíduo, como por exemplo a espessura dos galhos, ou por fatores ecológicos, como por exemplo se a espécie foi coletada na borda de um fragmento e/ou foi favorecida por maior disponibilidade hídrica.

A baixa variação entre os caracteres do lenho e do carvão demonstradas pelo presente estudo aproximam ainda mais as análises antracológicas da anatomia da madeira, sendo particularmente importante para o desenvolvimento da antracologia no Brasil, independente da sua finalidade – seja para estudos paleoecológicos ou paleoetnobotânicos, para a caracterização de espécies carbonizadas ou para a identificação de carvões provenientes da ação antrópica.

8. CONCLUSÕES

Através da análise da anatomia do lenho e do carvão em dez espécies do cerrado com tipos anatômicos distintos, pode-se concluir que os caracteres qualitativos do lenho são mantidos nos carvões, tanto no que se refere à organização celular propriamente dita quanto ao formato e dimensão das fibras e células do parênquima axial e radial. Em se tratando do caráter qualitativo, as principais conclusões deste trabalho foram:

- houve redução significativa estatisticamente com relação ao diâmetro tangencial dos vasos em 70% do material analisado (a redução média do diâmetro dos vasos nas espécies foi de 17%, tendo uma variação de apenas 2% em *Tapirira guianensis* a até 32% em *Vochysia tucanorum*);
- a frequência dos vasos teve pouca variabilidade e não apresentou diferenças significativas;
- o diâmetro tangencial da abertura das pontoações intervasculares foi mantido praticamente sem alterações;
- a frequência dos raios aumentou na maioria dos indivíduos analisados, mas este aumento só foi significativo estatisticamente na análise realizada com 30 medições;
- a largura dos raios variou bastante, de acordo com o indivíduo analisado, ela foi mantida, reduziu-se ou expandiu-se;

- indivíduos com os raios mais largos apresentaram maior contração do que indivíduos com os raios mais estreitos;
- a altura dos raios não variou significativamente em nenhum dos 30 indivíduos analisados, mas os testes estatísticos identificaram variações significativas ao considerar as espécies, as quais não são decorrência do processo de carbonização, mas podem ser atribuídas à diferença de altura dos raios entre os três indivíduos de cada espécie analisados.

Estes resultados demonstram que a carbonização a 400°C resultou apenas em pequenas modificações entre a estrutura original do lenho e o carvão. A baixa variação entre os parâmetros analisados de lenho e carvão corroboram a possibilidade de determinação taxonômica a partir de material carbonizado e estreitam as relações entre antracologia e anatomia da madeira, podendo contribuir com os estudos de carvões da mesma forma que a anatomia da madeira contribui com diversas áreas.

O presente estudo fornece subsídios para as mais variadas aplicações da antracologia, seja para estudos paleoecológicos e paleoetnobotânicos, como também para estudos tecnológicos (e.g. qualidade de carvão vegetal) e conservacionistas. Este último aspecto é particularmente importante. Apesar de ainda pouco utilizada neste sentido, a antracologia é uma ferramenta fundamental para a identificação de espécies provenientes de incêndios naturais ou de origem antrópica, e principalmente para a fiscalização de carvão vegetal no Brasil, pois o país é o maior produtor mundial de carvão vegetal e grande parte desta produção ainda é proveniente da vegetação nativa, de modo que a identificação de carvões de procedência irregular permite coibir a comercialização de espécies retiradas ilegalmente de biomas nativos.

9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2008. Brasília, DF, 2009. 129 p.

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some brazilian species I: Growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Leuven, v. 21, n. 1, p. 3-30, 2000.

ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 149 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ANTAL, M. J. Jr.; GRONLI, M. The art, science, and technology of charcoal production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, DC, v. 42, p. 1619-1640, 2003.

ANTAL, M. J. Jr. et al. High-yield biomass charcoal. **Energy & Fuels**, Washington, DC, v. 10, p. 652-658. 1996.

BADAL, E.; BERNABEU, J.; VERNET, J.-L. Vegetation changes and human action from the Neolithic to the Bronze Age (7000-4000 BP) in Alicante, Spain, based on charcoal analysis. **Vegetation History and Archaeobotany**, Wilhelmshaven, v. 3, p. 155-166, 1994.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. Siderurgia a carvão vegetal: passado, presente e futuro. **Informativo Técnico RENABIO**, Viçosa, n. 1, p. 1-15, 2006.

BARREIRA, S. et. al. Estudo da estrutura da regeneração natural e da vegetação adulta de um cerrado sensu *stricto* para fins de manejo florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 61, p. 64-78, 2002.

BEALL, F. C.; EICKNER J. W. **Thermal degradation of wood components**. Washington, DC: USDA Forest Products Laboratory. 1970. 30 p. (Forest research paper FPL 130).

BEALL, F. C.; BLANKENHORN, P. R.; MOORE, G. R. Carbonized Wood-Physical Properties and Use as an SEM Preparation. **Wood Science**, Kyoto, v. 6, n. 3, p. 212-219, 1974.

BEAUCLAIR, M. et. al. Fire and ritual: bark hearths in South-American Tupiguarani mortuary rites. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 36, p. 1409-1415, 2009.

BIANCHINI, G. F.; SCHEEL-YBERT, R.; GASPAR, M. D. Estaca de Lauraceae em contexto funerário (sítio Jaboticabeira-II, Santa Catarina, Brasil). **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, v. 17, p. 223-229, 2007.

BOON, J. J. *et. al.* Structural studies on cellulose pyrolysis and cellulose chars by PYMS, PYGCMS, FTIR, NMR and by wet chemical techniques. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 7, p. 25-32, 1994.

BRAADBAART, F.; POOLE, I. Morphological, chemical and physical changes during charcoalfication of wood and its relevance to archaeological contexts. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 35, p. 2434-2445, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2009: ano base 2008**. Rio de Janeiro, 2009. 276 p.

BREUIL, H. Les fouilles dans la grotte du Mas d'Azil (Ariège). **Bulletin Archéologique**, Montauban, p. 421-436, 1903.

BRITO, J. O. **Desafios e perspectivas da produção e comercialização de carvão vegetal**. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: UFV, 2008. 1 CD-ROM.

BUKATSCH, F. Bemerkungen zur doppelfärbung astrablau-safranin. **Mikrokosmos**, Stuttgart, v. 61, n. 8, p. 33-36, 1972.

BYRNE, C. E.; NAGLE, D. C. Carbonization of wood for advanced materials applications. **Carbon**, Emsford, v. 35, n. 2, p. 259-266, 1997.

CARNEIRO, M. S. Crítica social e responsabilização empresarial: análise das estratégias para a legitimação da produção siderúrgica na Amazônia Oriental. **Caderno CRH**, Salvador, v. 21, n. 53, p. 323-336, 2008.

COELHO, J. S.; SCHEEL-YBERT, R. Contribuição ao estudo da anatomia da madeira em amostras de lenho carbonizado de espécies de Euphorbiaceae: subsídio a estudos paleoecológicos, paleoetnobotânicos e de fiscalização de carvão atual. In: JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, ARTÍSTICA E CULTURAL DA UFRJ, 21., 2009, RIO DE JANEIRO. **Resumos...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2009. p. 4.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges**. Berlin: Springer Verlag, 1990. p. 82-105.

DETIENNE, P.; JACQUET, P. **Atlas d'identification des bois de l'amazonie et des regions voiseines**. Nogent-Sur-Marne: Centre Technique Forestier Tropical, 1983. 640 p.

DIAS, E. C. et al. Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 269-277, 2002.

DUBOC, E. et al. **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2007. 37 p.

ESPINOZA DE PERNÍA, N.; MELANDRI, J. L. Wood anatomy of the Tribe Caesalpinieae (Leguminosae, Caesalpinioideae) in Venezuela. **IWA Journal**, Leuven, v. 27, n. 1, p. 99-114, 2006.

EVERT, R. F. **Esau's plant anatomy of seed plants**. 3. ed. New York: John Wiley, 2006. 601 p.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: de Gruyter, 1989. 613 p.

FERREIRA, O. C. Emissões de gases de efeito estufa na produção e no uso do carvão vegetal. **Economia & Energia**, Viçosa, n. 20, 2000. Disponível em: <<http://ecen.com/eee20/emiscarvemiscarb.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

FIGUEIRAL, I. Evidence from charcoal analysis environmental change during the interval late Bronze Age to Roman, at the archaeological site of Castro de Penices, N.W. Portugal. **Vegetation History and Archaeobotany**, Wilhelmshaven, v. 4, p. 93-100, 1995.

FONSECA, C. N.; LISBOA, P. L. B.; URBINATI, C. V. A Xiloteca (Coleção Walter A. Egler) do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 1, n. 1, p. 65-140, jan./abr. 2005. Série ciências naturais.

FRANCESCHI, V. R.; NAKATA, P. A. Calcium Oxalate in Plants: Formation and Function. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, n. 56, p. 41-71, 2005.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, p. 51, 1945.

GONÇALVES, T. A. P. **Contribuição ao conhecimento da anatomia da lenho das famílias Anacardiaceae, Annonaceae, Aquifoliaceae, Apocynaceae e Araliaceae, através de amostras carbonizadas do lenho de espécies brasileiras**. 2006. 107 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)-Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

GONÇALVES, T. A. P.; SCHEEL-YBERT, R. Anatomia do lenho de espécies de Anacardiaceae e Annonaceae em amostras carbonizadas. In: JORNADA FLUMINENSE DE BOTÂNICA, 22.; REUNIÃO CIENTÍFICA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE BOTÂNICA, 2003. **Resumos...** Cabo Frio: SBB, 2003. p. 28.

GONÇALVES, T. A. P.; SCHEEL-YBERT, R. Estudos anatômicos de madeiras carbonizadas da coleção de referência antracológica do Setor de Paleobotânica e Paleopalínologia do DGP/MN: Anacardiaceae, Annonaceae, Aquifoliaceae, Apocynaceae, Araliaceae e Compositae. In: JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA ARTÍSTICA E CULTURAL DA UFRJ, 28., 2006, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. p. 14.

GONÇALVES, T. A. P.; SCHEEL-YBERT, R. Contribuição da antracologia no controle da produção de carvão vegetal no Brasil. In: JORNADA FLUMINENSE DE BOTÂNICA, 26., 2007, Itatiaia. **Resumos...** Rio de Janeiro: JFB, 2007. p. 99-100.

GONÇALVES, T. A. P.; SCHEEL-YBERT, R. Antracologia: Uma valiosa ferramenta na fiscalização de carvão vegetal no Brasil. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA LENHO DO RIO DE JANEIRO, 1., 2008, Seropédica. **Meio digital...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2008. 1 CD-ROM.

GONÇALVES, T. A. P.; RANGEL, A.; SCHEEL-YBERT, R. Caracterização anatômica do lenho carbonizado de espécies comuns do cerrado: Subsídio a estudos antracológicos e conservacionistas - I. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO E II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 9., 2008, Brasília, DF. **Resumos...** Brasília, DF: ParlaMundi, 2008. p. 1-7.

GONÇALVES, T. A. P.; MARCATI, C. R.; SCHEEL-YBERT, R. Contribuição da Antracologia para a fiscalização de carvão vegetal oriundo de biomas brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2009, Belo Horizonte. **Meio digital...** Colombo: EMBRAPA Florestas, 2009. 1 CD-ROM.

GUIMARÃES NETO, R. M. **Avaliação técnica e econômica de um forno container em escala industrial.** 2005. 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

HAN, J.; SCHEEL-YBERT, R.; CARVALHO, M. A. Estudos anatômicos de madeiras carbonizadas da coleção de referência antracológica do Setor de Paleobotânica e Paleopalynologia do DGP/MN: Bignoniaceae. In: JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, ARTÍSTICA E CULTURAL DA UFRJ, 29., 2007, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2007. p. 1-2.

HEER, O. Pflanzen der Pfanzhlabuten. **Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Neujbl**, Zúrique, p. 1-54, 1866.

HEINZ, C. Upper Pleistocene and Holocene vegetation in the south of France and Andorra. Adaptations and first ruptures: New charcoal analysis data. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 69, p. 299-324, 1991.

HEINZ, C.; THIÉBAULT, S. Characterization and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblages during late and post-glacial phases in southern France. **Quaternary Research**, Rotterdam, v. 50, p. 56-68, 1998.

IAWA Committee. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leuven, v. 10, n. 2, p. 219-332, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2008. v. 23, 44 p.

INFOENER. Sistema de Informações Energéticas. **Carvão vegetal no Brasil**. Disponível em: <http://infoner.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_carvao.asp>. Acesso em: 20 jun. 2010.

INSTITUTO OBSERVATÓRIO SOCIAL. Trabalho escravo no Brasil: o drama dos carvoeiros: a responsabilidade das siderúrgicas: a campanha para a erradicação. **Observatório Social Em Revista**, Florianópolis, n. 6, 2004. Especial. 68 p.

KIM, N-H; HANNA, R. B. Morphological characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 40, p. 392-401, 2006.

KOLLMANN, F. F. P.; SACHS, I. B. The effects of elevated temperature on certain wood cells. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 1, n. 1, p. 14-25, 1967.

KRAUS, J. E.; ARDUIM, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: EDUR, 1997. 198 p.

KRIBS, D. A. **Commercial foreign woods on the American market**. New York: Dover, 1968. 241 p.

KUKACHKA, B. F. **Wood anatomy of the neotropical Sapotaceae. IX. Pseudoxythece**. Washington, DC: USDA Forest Products Laboratory, 1979. 7 p. (Research paper FPL 350).

KUKACHKA, B. F. **Wood anatomy of the neotropical Sapotaceae. XVIII. Gomphiluna**. Washington, DC: USDA Forest Products Laboratory, 1980. 8 p. (Research paper FPL 362).

KUKACHKA, B. F. **Wood anatomy of the neotropical Sapotaceae. XXVI. Myrtiluma**. Washington, DC: USDA Forest Products Laboratory, 1981. 7 p. (Research paper FPL 397).

- KUKACHKA, B. F. **Wood anatomy of the neotropical Sapotaceae. XXVIII. Labatia**. Washington, DC: USDA Forest Products Laboratory, 1982. 11 p. (Research paper FPL 416).
- KWON, S-M.; KIM, N-H.; CHA, D.-S. An investigation on the transition characteristics of the wood cell walls during carbonization. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 43, p. 487-498, 2009.
- LADGRAF, F. J. G.; TSCHIPTSCHIN, A. P.; GOLDENSTEIN, H. **Notas sobre a história da metalurgia no Brasil**. 2004. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/notas/notas.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2010.
- LEÓN, H.; WILLIAMS, J. Estudio anatómico del xilema secundario de especies de la familia Anacardiaceae en Venezuela. **Acta Botanica Venezuelica**, Caracas, v. 26, p. 1-30, 2003.
- MAINIERI, C. **Madeiras denominadas Caixeta**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1958. 94 p. (Publicação IPT, n. 572).
- MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENTATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinioideae) de floresta e cerradão. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 311-320, 2001.
- MARCONETTO, A. B. Analysis of burnt building structures of the Ambato valley (Catamarca, Argentina). In: THIÉBAULT, S. (Ed.). Charcoal analysis: methodological approaches, palaeoecological results and wood uses. **British Archaeological Reports International Series**, Oxford, v. 1063, p. 267-272, 2002.
- MARGUERIE, D.; HUNOT, J-Y. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 34, n. 9, p. 1417-1433, 2007.
- MATARELLI, F. A.; LOPES, L. E. F.; CASTRO, L. F. A. Siderurgia a carvão vegetal. In: BIOMASSA: energia nos trópicos em Minas Gerais. Belo Horizonte: LabMídia; FAFICH, 2001. p. 145-161.
- McGINNES, E. A.; KANDEEL, S. A.; SZOPA, P. S. Some structural changes observed in the transformation of wood into charcoal. **Wood and Fiber**, Monona, v. 3, n. 2, p. 77-83, 1971.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. Oxford: Clarendon, 1950. 2 v.

MILLER, R. B.; DETIENNE, P. **Major timber trees of Guyana: wood anatomy**. Wageningen: Tropenbos International, 2001. 218 p.

MILLER, R. B.; WIEMANN, M. C. Separation of *Dalbergia nigra* from *Dalbergia spruceana*. Madison: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2006, 5 p. (Research paper FPL-RP-632).

MILLER, R. B. Fluorescent woods of the world. In: FLYNN, J. H. Jr. (Ed.). **A guide to the more useful woods of the world**. Madison: Forest Products Society, 2007. p. 271-305.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA A. C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 51-68.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <www.mma.gov.br/ascom/ultimas/index.cfm?id=4370>. Acesso em: 20 jun. 2010.

MONTEIRO, M. Em busca de carvão vegetal barato: o deslocamento de siderúrgicas para a Amazônia. **Novos Cadernos do NAEA**, Belém, v. 9, n. 2, p. 55-97, 2006.

MOURA, R. P. O.; GONÇALVES, T. A. P.; SCHEEL-YBERT, R. Anatomia do lenho de espécies de Boraginaceae em amostras carbonizadas. In: JORNADA FLUMINENSE DE BOTÂNICA, 25., 2006, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: UNIRIO, 2006. p. 37.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. 2010. Disponível em: <www.mte.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2010.

NARDI, R. B.; ABBATE, M. L. E. **Legnami tropicali importati in Italia: anatomia e identificazione**. Firenze: CNR, 1992, v. 2. 406 p.

NELLE, O. Charcoal burning remains and forest stand structure: examples from Black Forest (south-west-Germany) and the Bavarian Forest (south-east-Germany). In: THIÉBAULT, S. (Ed.). **Charcoal analysis: methodological approaches**,

palaeoecological results and wood uses. **British Archaeological Reports International Series**, Oxford, v. 1063, p. 201-207, 2002.

NEUMANN, K. Holocene vegetation of the Eastern Sahara: charcoal from prehistoric sites. **The African Archaeological Review**, Dordrecht, v. 7, p. 97-116, 1989.

NEUMANN, K.; KAHLHEBER, S.; UEBEL, D. Remains of woody plants from Saouga, a Medieval West African Village. **Vegetation History and Archaeobotany**, Heidelberg, v. 7, p. 57-77, 1998.

NEWSON, L. A. Plants and people: cultural, biological and ecological responses to wood exploitation. In: SCARRY, C.M. (Ed.). **Foraging and farming in the eastern woodlands**. Gainesville: University Presses of Florida, 1993. p. 115-137.

NISGOSKI, S.; MUNIZ, G. I. B.; LOCK, U. Caracterização Anatômica da Lenho de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. 2010. Disponível em: <<http://www.oitbrasil.org.br>>. Acesso em: 20 jun. 2010.

OLIVEIRA, J. S. **Variações estruturais do lenho de espécies de cerrado do Estado de São Paulo**. 2006. 129 p. Dissertação (Mestrado em Botânica)-Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. 398 p.

PEARSALL, D. M. **The application of ethnobotanical techniques to the problem of subsistence in the Ecuadorian Formative**. 1979. Tese (Doutorado em Antropologia)-University of Illinois, Illinois, 1979.

PEARSALL, D. M. Evaluating the stability of subsistence strategies by use of paleoethnobotanical data. **Journal of Ethnobiology**, Denton, v. 3, p. 121-137, 1983.

PINHEIRO, P. C. da C.; SAMPAIO, R. S.; BASTOS FILHO, J. G. Organização da produção do carvão vegetal em fornos de Alvenaria. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 3, p. 253-258, 2005.

PIQUÉ I HUERTA, R. **Producción y uso del combustible vegetal**: una evaluación arqueológica. Barcelona: Treballs d'Etnoarqueologia. Universitat Autònoma de Barcelona, 1999. 308 p.

PRADO, R. M. **Histórico do setor siderúrgico no Brasil**. 2004. Disponível em: <<http://escoriadesiderurgia.vilabol.uol.com.br/historico.html>>. Acesso em: 25 jun. 2010.

PREJAWA, H. Die Ergebnisse der Bohlweguntersuchungen in Grenzmoor zwischen Oldenburg und Preussen und in Mellinghausen im Kreise Sulingen. **Mitteilungen des historischen Vereins**, Osnabruck, v. 21, p. 98-178, 1896.

PRIOR, J.; ALVIN, K. L. Structural changes on charring woods of *Dichrostachys* and *Salix* from southern Africa. **IAWA Bulletin**, Leuven, v. 4, n. 4, p. 197-206, 1983.

PRIOR, J.; GASSON, P. Anatomical changes on six African hardwoods. **IAWA Journal**, Leuven, v. 14, n. 1, p. 77-86, 1993.

PRIOR, J.; WILLIAMS, D.P. An investigation of climatic change in the Holocene epoch using archaeological charcoal from Swaziland, Southern Africa. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 12, p. 457-475, 1985.

QUEIROZ NETO, J. P. Solos da região dos cerrados e suas interpretações. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 6, n. 1, p. 1-12, 1982.

QUIRK, J. T. Wood anatomy of the Vochysiaceae. **IAWA Bulletin**, Leuven, v. 1, n. 4, p. 172-179, 1980.

RANGEL, A.; SCHEEL-YBERT, R. Estudos anatômicos de madeiras carbonizadas da coleção de referência antracológica do Setor de Paleobotânica e Paleopalinologia do DGP/MN: Burseraceae, Cactaceae, Capparaceae. In: JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, ARTÍSTICA E CULTURAL DA UFRJ, 30., 2008, Rio de Janeiro. **Meio digital...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2008. 1 CD-ROM.

RATTER, J. A., RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, Oxford, v. 80, p. 223-230, 1997.

REPÓRTER Brasil. 2010. Disponível em: <<http://www.reporterbrasil.org.br>>. Acesso em: 25 jun. 2010.

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. **Commercial timbers**: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. 2000 (onwards) in English, French, German and Spanish. version 18th october 2002. 2002. 1 CD-ROM.

ROESER, K. R. Die nadel der schwarzkiefer. massenprodukt und kunstwerk der Natur. **Mikrokosmos**, Stuttgart , v. 61, n. 8, p. 33-36, 1972.

SADORI, L.; GIARDINI, M. Charcoal analysis, a method to study vegetation and climate of the Holocene: The case of Lago di Pergusa (Sicily, Italy). **Geobios**, Lyon, v. 40, n. 2, p. 173-180, 2007.

SAKAMOTO, L. **Lucro alto, mão-de-obra descartável**: o trabalho escravo contemporâneo na economia de mercado na Amazônia brasileira. 2007. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/200405/reportagens/11.shtml>>. Acesso em: 25 jun. 2010.

SALGADO-LABOURIAU, M. L.; FERRAZ-VICENTINI, K. R. Fire in the cerrado 32.000 years ago. **Current Research in the Pleistocene**, Texas, v. 11, p. 85-87, 1994.

SCHEEL, R. **Stabilité de l'Écosystème sur le Littoral Sud-Est du Brésil à l'Holocène Supérieur (5500-1400 ans BP)**: les pêcheurs-cueilleurs-chasseurs et le milieu végétal: apports de l'anthracologie. 1998. 245 p. Tese (Doutorado em Ecologia)-Universite de Montpellier II, Science et Tech Du Languedoc, Montpellier, 1998. v. 1-3.

SCHEEL, R. Paleoambiente e paleoetnologia de populações sambaqueiras do sudeste do Estado do Rio de Janeiro. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, v. 9, p. 43-59, 1999.

SCHEEL, R. Vegetation stability in the Southeastern Brazilian coastal area from 5500 to 1400 14C yr BP deduced from charcoal analysis. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 110, n. 2, p. 111-138, 2000.

SCHEEL, R. Man and Vegetation in Southeastern Brazil during the Late Holocene. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 28, n. 5, p. 471-480, 2001a.

SCHEEL, R. Os sambaqueiros e o mundo vegetal: meio ambiente, utilização da lenho e alimentação. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ARQUEOLOGIA BRASILEIRA, 11., 2001, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: SAB, 2001b. v. 1, p. 1-17.

SCHEEL, R. Late Holocene south-eastern Brazilian fisher-gatherer-hunters: environment, wood exploitation and diet. In: THIÉBAULT, S. (Ed.) Charcoal analysis: methodological approaches, palaeoecological results and wood uses. **British Archaeological Reports International Series**, Oxford, v. 1063, p. 159-168. 2002a.

SCHEEL, R. Vegetation stability in the Brazilian littoral during the late Holocene: anthracological evidence. **Revista Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 28, n. 2, p. 315-323, 2002b.

SCHEEL, R. Importância da análise de macro-restos vegetais para a reconstituição do modo de vida de populações pré-históricas. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ARQUEOLOGIA BRASILEIRA, 12., 2003, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: SAB, 2003a. p. 11.

SCHEEL, R. Relações dos habitantes de sambaquis com o meio ambiente: evidências de manejo de vegetais na costa sul-sudeste do Brasil durante o Holoceno Superior. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA ABEQUA, 9., 2003, Recife. **Livro de resumos...** Recife: ABEQUA, 2003b. p. 271.

SCHEEL, R. Teoria e métodos em antracologia. 1: considerações teóricas e perspectivas. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 1, p. 3-14, 2004.

SCHEEL-YBERT, R.; DIAS, O. F. Corondó: palaeoenvironmental reconstruction and palaeoethnobotanical considerations in a probable locus of early plant cultivation (south-eastern Brazil). **Environmental Archaeology**, Motul de San Jose, v. 12, p. 129-138, 2007.

SCHEEL, R.; GASPAR, M. D. ; YBERT, J.-P. A anatomia dos carvões pré-históricos. Arqueologia encontra respostas em restos de fogueiras e incêndios florestais. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 122, p. 66-69, 1996a.

SCHEEL, R.; GASPAR, M. D. ; YBERT, J.-P. Antracologia, uma nova fonte de informações para a arqueologia brasileira. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, v. 6, p. 3-9, 1996b.

SCHEEL-YBERT, R.; SCHEEL, M.; YBERT, J.-P. . **Atlas Brasil**: banco de dados antracológico e chave informatizada para determinação de carvões. versão 2.2. 2002. 1 CD-ROM.

SCHEEL-YBERT, R. et. al. Holocene palaeoenvironmental evolution of the cerrado and semideciduous forest zone in the São Paulo State (Brazil), based on anthracology and soil d13C analysis. **The Holocene**, Sevenoaks, v. 13, n. 1, p. 73-81, 2003.

SCHEEL-YBERT, R. et. al. Coleções de referência e bancos de dados de estruturas vegetais: subsídios para estudos paleoecológicos e paleoetnobotânicos. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v. 64, p. 255-266, 2006.

SCHEEL-YBERT, R. et. al. Subsistence and lifeway of coastal Brazilian moundbuilders. **Treballs d etnoarqueologia**, Barcelona, v. 7, p. 37-53, 2009.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Assembléia Legislativa aprova Lei do Cerrado para o estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/verNoticia.php?id=496>>. Acesso em: 25 jun. 2010.

SHAFIZADEH, F. Introduction to pyrolysis of biomass. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 3, p. 283-305, 1982.

SLOCUM, D. H.; MCGINNES, E. A.; BEALL, F. C. Charcoal yield, shrinkage, and density changes during carbonization of Oak and Hickory woods. **Wood Science**, Heidelberg, v. 11, n. 1, p. 42-47, 1978.

SOFFIATTI, P.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Estudo anatômico comparativo do lenho e da casca de duas espécies de Eugenia (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 175-184, 1999.

SOLARI, M. E. Estudio antracologico del sitio Punta Baja I (Mar de Otway). **Anales del Instituto de la Patagônia**: série ciências sociais, Punta Arenas, v. 19, p. 115-120, 1990.

SOLARI, M. E. Estudio antracologico del Archipelago del Cabo de Hornos y Seno Grandi. **Anales del Instituto de la Patagônia**: série ciências humanas, Punta Arenas, v. 22, p. 137-148, 1993/94.

TARDY, C. **Paléoincendies naturels, feux anthropiques et environnements forestiers de Guyane Française du Tardiglaciaire à l'Holocène récent**: approches chronologique et anthracologique. 1998. 493 p. Thesis (Doctor in Archaeology)- Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.

THE LINNEAN SOCIETY OF LONDON. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 161, p. 105-121, 2009.

TENGBERG, M. Vegetation history and wood exploitation in the Oman peninsula from the Bronze Age to the Classical period. In: THIÉBAULT, S. (Ed.). Charcoal analysis: methodological approaches, palaeoecological results and wood uses. **British Archaeological Reports International Series**, Oxford, v. 1063, p. 151-158, 2002.

TERRAZAS, T. S. **Wood anatomy of the Anacardiaceae**: ecological and phylogenetic interpretation. 1994. 321 p. Thesis (Doctor in Botany)-University of North Carolina, Chapel Hill, 1994.

THÉRY-PARISOT, I. **Économie des combustibles au Paléolithique**. Paris: CNRS, 2001. 195 p.

THÉRY-PARISOT, I; CHABAL, L.; CHRZAVZEZ, J. Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis: a review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages, in archaeological contexts. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 291, p. 142-153, 2010.

THIÉBAULT, S. Early-Holocene vegetation and the human impact in central Provence (Var, France): charcoal analysis of the Baume de Fontbrégoua. **The Holocene**, Thousand Oaks, v. 7, n. 3, p. 343-349, 1997.

THOMPSON, G. B. Wood charcoals for tropical sites: a contribution to methodology and interpretation. In: HATHER, J. G. (Ed.). **Tropical Archaeobotany**: applications and new developments. London: Routledge, 1994. p. 9-33.

TRUGILHO, P. F. et. al. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial da amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, jan./jun. 2005.

TUSENIUS, M. L. Charcoal analytical studies on the north-eastern Cape, South Africa. **South African Archaeological Society Goodwin Series**, Vlaeberg, v. 6, p. 77-83, 1989.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da lenho e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, p. 71-80, 2002.

VELLA, M. M. C. F. et al. Influência da velocidade de carbonização da madeira nos rendimentos e nas propriedades do carvão produzido. **IPEF**, Piracicaba, n. 41/42, p. 64-76, jan./dez. 1989.

VERNET, J.-L. Étude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire, d'après les charbons de bois principalement. **Paléobiologie Continentale**, Montpellier, v. 4, n. 1, p. 1-90, 1973.

VERNET, J.-L. (org.). Les charbons de bois, les anciens écosystèmes et le rôle de l'homme. Actes du Colloque. **Bulletin de la Société Botanique de France, Bulletin Société Botanique Française**, Paris, v. 139, p. 725, 1992.

VERNET, J.-L.; THIÉBAULT, S. An approach to northwestern Mediterranean recent prehistoric vegetation and ecologic implications. **Journal of Biogeography**, Chichester, v. 14, p. 117-127, 1987.

WHEELER, E. A.; MANCHESTER, S. R. Woods of the Eocene Nut Beds flora, Clarno Formation, Oregon, USA. **IAWA Journal**, Leuven, 2002. 188 p. Supplement 3.

WHEELER, E. A.; BAAS, P.; RODGERS, S. Variations in dicot wood anatomy: A global analysis based on the Insidewood Database. **IAWA Journal**, Leuven, v. 28, n. 3, p. 229-258, 2007.

WESTERN, C. Wood and charcoal in archaeology. In: BROTHWELL, D.; HIGGS, E. **Science in archaeology: a comprehensive survey of progress and research**, Londres: Thames and Hudson, 1963. p. 150-162.

WILLCOX, G. Evidence for ancient forest cover and deforestation from charcoal analysis of ten archaeological sites on the Euphrates. In: THIÉBAULT, S. (Ed.). Charcoal analysis: methodological approaches, palaeoecological results and wood uses. **British Archaeological Reports International Series**, Oxford, v. 1063, p. 141-146, 2002.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees: A review. **IAWA Journal**, Leuven, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

ZERIOUH, A; BELKBIR, L. Thermal decomposition of a Moroccan wood under a nitrogen atmosphere. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 258, p. 243-248. 1995.