



**Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Programa de Pós Graduação em Botânica**

**Caracterização anatômica do carvão de espécies florestais
nativas e exóticas como subsídio à atividade de fiscalização
ambiental**

Lidiane Cristina Ribeiro Silva

Orientadora: Professora Dra. Sueli Maria Gomes

Colaboradora: Dra. Vera Rauber Coradin

Brasília-DF

2016



**Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Programa de Pós Graduação em Botânica**

**Caracterização anatômica do carvão de espécies florestais
nativas e exóticas – um subsídio à atividade de fiscalização
ambiental**

**Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Botânica da
Universidade de Brasília, como um dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Botânica.**

Lidiane Cristina Ribeiro Silva

Orientadora: Professora Dra. Sueli Maria Gomes

Colaboradora: Dra. Vera Rauber Coradin

**Brasília-DF
2016**

À Deus e à Natureza

Agradeço

Aos meu pais Maria Perpétua Ribeiro Silva e Daniel Teixeira da Silva (*in
memorian*)

Dedico

Ao meu companheiro, familiares e amigos

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por ter me cedido a oportunidade de crescer e aprofundar os estudos.

À Dra. Sueli Maria Gomes, Professora do Departamento de Botânica da Universidade de Brasília (UNB), por ter me mostrado o verdadeiro valor de um Orientador. Sempre com muita gentileza, ânimo, profissionalismo, cuidado e paciência, me mostrou o que é ser “mestre”, sempre me orientando e apontando caminhos certos. Obrigada por tudo, Sueli.

Ao Departamento de Botânica da UNB e seus queridos Professores e Técnicos.

À pesquisadora do Laboratório de Produtos Florestais/Serviço Florestal Brasileiro, Anatomista renomada, PHD. Vera Teresinha Rauber Coradin, pelas correções e orientações.

Ao Professor Dr. Carlos Roberto Lima, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Patos/PB pelo acolhimento, gentileza e apoio durante a viagem de coleta e a Professora Dra. Maria de Fátima de Araújo Lucena, pelo apoio e identificação das espécies da Caatinga. Ao estagiário Messias, pela ajuda nas coletas e ao motorista da Universidade.

Ao Professor do Departamento de Engenharia Florestal da UNB, Dr. Ailton Teixeira do Vale e ao Técnico da FAL, Vandui Dantas, pela valiosa ajuda no processo de carbonização da madeira.

Ao Laboratório de Produtos Florestais (LPF) pela oportunidade de realizar a pesquisa e aos Analistas Ambientais, Alexandre Bahia Gontijo (Responsável), Elisa Palhares de Souza, Juliana Rodrigues e Luiz Fernando Marques, pela agradável convivência do dia a dia e disposição em me ajudar durante as análises.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UNB, especialmente a Técnica de Laboratório, Ingrid.

Ao meu leal companheiro Bruno Augusto Fernandes, por todo o apoio e companheirismo prestados ao longo da caminhada.

Aos familiares, amigos e à Deus.

À minha querida psicóloga, Maíra.

E por fim, ao maravilhoso tecido vegetal, o xilema secundário, sem o qual a madeira e o carvão não existiriam.

SUMÁRIO

1. Introdução e Revisão Bibliográfica	1
1.1 O carvão vegetal na indústria brasileira	1
1.2 Carvão vegetal e a legislação ambiental	2
1.3 Carvão vegetal e a Caatinga	3
1.4 A Anatomia da madeira aplicada à taxonomia	4
1.4.1 Estudos anatômicos do carvão voltados para fiscalização ambiental	6
1.5 Carbonização da madeira	6
1.5.1 Modificações no lenho	7
1.5.2 Antracologia	8
1.6 Justificativa	9
1.6.1 Ambiental	9
1.6.2 Técnica	10
2. Objetivos	11
2.1. Objetivo geral	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. Metodologia	12
3.1. Coleta de material botânico	13
3.2 Preparação do carvão vegetal	14
3.3 Preparação das amostras de madeira	14
3.4 Estudos anatômicos	15
4. Referências Bibliográficas	16
CAPÍTULO I - Anatomia da madeira e do carvão de cinco espécies florestais da Caatinga	
Introdução	25
Materiais e Métodos	26
Resultados	28
<i>Mimosa tenuiflora</i>	29
<i>Poincianella pyramidalis</i>	33
<i>Anadenanthera colubrina</i>	37
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	41
<i>Croton sonderianus</i>	45
Discussão	57

Conclusões.....	60
Referências Bibliográficas.....	62
 CAPÍTULO II - Macroscopia da madeira e do carvão da algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>) e de três espécies de eucalipto cultivadas no Brasil	
Introdução	70
Materiais e Métodos	71
Resultados	73
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	73
<i>Eucalyptus grandis</i>	75
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	77
<i>Prosopis juliflora</i>	79
Discussão.....	82
Conclusões.....	84
Recomendações Técnicas.....	85
Referências Bibliográficas.....	86

LISTA DE FIGURAS (FIG.)

CAPÍTULO I

Fig. 1. *Mimosa tenuiflora*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

Fig. 2. Microscopia da madeira e do carvão de *Mimosa tenuiflora*.

Fig. 3. Carvão de *Mimosa tenuiflora* em MEV.

Fig. 4. *Poincianella pyramidalis*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

Fig. 5. Microscopia da madeira e do carvão de *Poincianella pyramidalis*.

Fig. 6. Carvão de *Poincianella pyramidalis* em MEV.

Fig. 7. *Anadenanthera colubrina*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

Fig. 8. Microscopia da madeira e do carvão de *Anadenanthera colubrina*.

Fig. 9. Carvão de *Anadenanthera colubrina* em MEV.

Fig. 10. *Schinopsis brasiliensis*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

Fig. 11. Microscopia da madeira e do carvão de *Schinopsis brasiliensis*.

Fig. 12. Carvão de *Schinopsis brasiliensis* em MEV.

Fig. 13. *Croton sonderianus*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

Fig. 14. Microscopia da madeira e do carvão de *Croton sonderianus*.

Fig. 15. Carvão de *Croton sonderianus* em MEV.

CAPÍTULO II

Fig. 1. *Eucalyptus camaldulensis*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

Fig. 2. *Eucalyptus cloeziana*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

Fig. 3. *Eucalyptus grandis*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

Fig. 4. *Prosopis juliflora*. Macroscopia da madeira e do carvão das superfícies transversal, tangencial e radial.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados sobre desmatamento na Caatinga entre 2002 e 2008 (IBAMA 2010).

Tabela 2. Fases teóricas da pirólise da madeira.

Tabela 3. Espécies nativas selecionadas para estudo.

Tabela 4. Espécies exóticas selecionadas para estudo.

CAPÍTULO I

Tabela 1. Características microscópicas observadas na madeira e carvão das espécies estudadas.

Tabela 2. Valores e estatística das características quantitativas macroscópicas mensuradas.

CAPÍTULO II

Tabela 1. Valores e estatística das características quantitativas macroscópicas mensuradas.

Caracterização anatômica do carvão de espécies florestais nativas e exóticas como subsídio à atividade de fiscalização ambiental

1. Introdução e Revisão bibliográfica

1.1 O carvão vegetal na indústria brasileira

De acordo com o Balanço Energético Nacional (MME 2014), o carvão vegetal abastece cerca de 8% do mercado interno de energia no Brasil, sendo o segmento da siderurgia seu maior consumidor. Uma parte considerável do custo de produção do ferro gusa vem da matéria-prima utilizada, que é elemento indispensável ao processo de redução do minério de ferro: o carvão de origem vegetal (MMA 2011). O grande responsável pelo surgimento da indústria siderúrgica no Brasil, o carvão vegetal, pode ser considerado como irreversível no atendimento da demanda brasileira por insumos energéticos, não só em termos de custos, mas principalmente pelas características de qualidade dos produtos siderúrgicos obtidos (Brito 1990).

Diferentemente do que aconteceu em outros países industrializados, o uso de carvão vegetal pela indústria brasileira é largamente praticado (Duboc 2007). No Brasil, existem cerca de 125 indústrias que utilizam carvão vegetal e em 2014, o consumo de carvão vegetal no Brasil alcançou cerca de 5,30 milhões de toneladas (IBA 2015). Os principais polos siderúrgicos estão localizados nos estados do Maranhão, Pará, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, sendo este último o estado que mais consome este carvão (MME 2014). Os pólos guseiros experimentaram um aumento de mais de 50% no consumo do carvão vegetal nos últimos 10 anos, sendo que deste acréscimo apenas metade é produzido com base em florestas plantadas (MMA 2011).

Cerca de 684.954,23 metros de carvão (MDC) nativo oriundo da Caatinga e Cerrado dos estados do Nordeste foram comercializados em 2015, de forma que os principais destinos foram os pólos industriais do Maranhão, Bahia e Pernambuco e os pólos siderúrgicos de Minas Gerais e Pará. Nos estados do Nordeste, indústrias importantes como a de produção de gesso, cal e cerâmica, consomem uma quantidade expressiva de carvão vegetal nativo. No entanto, destaca-se o crescimento da indústria de ferro-gusa do Maranhão, onde se instalaram sete usinas nos últimos anos, além das usinas localizadas no Maranhão, a região Nordeste conta também com a usina siderúrgica de São José do Belmonte, no sertão pernambucano (MMA 2010). Encontram-

e em processo de instalação novas unidades siderúrgicas em Fortaleza (CE) e Jequié (BA). Além disso, o polo siderúrgico de Minas Gerais (principalmente as usinas instaladas em Sete Lagoas) e siderúrgicas do Centro-Sul demandam carvão vegetal do sudoeste baiano (MMA 2010).

O plantio de florestas exóticas tem sido incentivado pelo governo brasileiro desde 1975, através da aplicação de incentivos fiscais para o desenvolvimento florestal do País (Zuchi 2000). Mas apesar do consumo cada vez maior de carvão originário de florestas plantadas exóticas, estima-se que cerca de 50% da matéria prima destinada à produção deste carvão é oriunda de matas nativas, em especial áreas do Cerrado (Duboc 2007).

1.2 Carvão vegetal e a legislação ambiental

O controle da origem, transporte e armazenamento do carvão vegetal nativo está normatizado pelo novo Código Florestal - Lei 12.651/2012 (BRASIL 2012). De acordo com seu Artigo 35, o controle da origem da madeira, do carvão e de outros produtos ou subprodutos florestais inclui sistema nacional que integra os dados dos diferentes entes federativos, coordenado, fiscalizado e regulamentado pelo órgão federal competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). Já no Artigo 36 deste mesmo Código Florestal (2012), parágrafo 3º, estabeleceu-se que todo aquele que recebe ou adquire para fins comerciais ou industriais, madeira, lenha, carvão e outros produtos ou subprodutos de florestas de espécies nativas é obrigado a exigir a apresentação do DOF e munir-se da via que deverá acompanhar o material até a etapa de beneficiamento final.

Uma importante legislação sobre o carvão vegetal nativo é a Instrução Normativa Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) nº 21/2013, que institui o Documento de Origem Florestal (DOF). O DOF, instituído pela Portaria Ministério do Meio Ambiente (MMA) nº 253, de 18 de agosto de 2006, constitui licença eletrônica obrigatória para o transporte, beneficiamento, comércio, consumo e armazenamento de produtos florestais de origem nativa, inclusive o carvão vegetal nativo.

O DOF lista em seu Artigo 2º, os produtos florestais processados relacionados ao carvão que são passíveis de controle ambiental. São esses: resíduos da indústria madeireira para fins energéticos; carvão de resíduos da indústria madeireira; carvão vegetal nativo, inclusive o embalado para varejo na fase de saída do local da exploração florestal, produção e/ou empacotamento.

Divergências entre quaisquer informações contidas no DOF ou no documento fiscal, e destes com a carga transportada, invalidam o DOF e isto sujeita os infratores às sanções previstas na Lei nº 9.605/1998 e no Decreto nº 6.514/2008 (com penalidades de R\$ 300,00 por estéreo, mdc ou metro cúbico). O DOF é, portanto, um importante instrumento da política florestal, na medida em que permite o monitoramento das atividades florestais no Brasil, sendo essencial para o controle do desmatamento nos diferentes biomas (MMA 2011).

A Lei 12.651/2012 (BRASIL 2012) estabelece que empresas industriais que utilizam grande quantidade de matéria-prima florestal são obrigadas a elaborar e implementar Plano de Suprimento Sustentável (PSS), a ser submetido à aprovação do órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). Em seu Artigo 34, parágrafo 4º, a referida Lei estabelece que o PSS de empresas siderúrgicas, metalúrgicas ou outras que consomem grandes quantidades de carvão vegetal ou lenha utilizará exclusivamente matéria-prima oriunda de florestas plantadas ou de Plano Manejo Florestal Sustentável (PMFS), e será parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento.

Apesar dos marcos legais e instrumentos de proteção ambiental, diversas ilegalidades têm sido aplicadas no âmbito da cadeia do carvão vegetal. Fraudes na comercialização de créditos de carvão (esquentamento), produção de carvão em áreas embargadas pelo IBAMA por parte dos fornecedores e o descumprimento generalizado da exigência do PSS são algumas das ilegalidades conhecidas (Instituto Ethos 2012). Uma outra estratégia fraudulenta é aquela onde carvoeiros e transportadores misturam o carvão oriundo de floresta exótica (origem exótica) com o carvão proveniente de floresta nativa (origem nativa), pois a distinção entre é feita somente por especialistas em identificação de carvão (Serviço Florestal Brasileiro 2014).

1.3 Carvão vegetal e a Caatinga

A Caatinga ocupa uma área de 11% do território brasileiro, confundindo-se com a região do semiárido nordestino, e é o único bioma exclusivamente nativo (MMA 2010).

De acordo com o Relatório de Monitoramento integrante do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e executado pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) do IBAMA, entre 2002 e 2008, foram desmatados 16.576 km², que equivalem a 2% da superfície do bioma e correspondem a uma taxa anual média de 2.763 km² (IBAMA 2010).

Tabela 1. Dados sobre desmatamento na Caatinga em 2002 e 2008 (IBAMA 2010).

Bioma Caatinga	2002		2008	
	Km ²	%	Km ²	%
Área desmatada	358.540	43,38	375.108	45,39
Área remanescente	460.063	55,67	443.121	53,62
Corpos d'água	7.851	0,95	8.182	0,99

Conforme a Tabela 1, em 2002 a Caatinga já se encontrava com 43,38% de sua cobertura vegetal original suprimida. De 2002 a 2008, a supressão de mais 16.576 km² contribuiu para um desmatamento acumulado de aproximadamente 375 mil km² (IBAMA 2010).

O desmatamento e a exploração predatória da Caatinga ocorrem principalmente para satisfazer demandas por carvão vegetal e lenha, sendo que os insumos energéticos provenientes da vegetação natural atendem às necessidades domésticas e industriais, sobretudo demandas dos polos de produção de gesso, cal, cerâmica e ferro-gusa (MMA 2010).

1.4. A anatomia da madeira aplicada à identificação taxonômica

A anatomia é particularmente útil na análise de partes separadas de plantas como folhas, raízes, caules, frutos ou sementes (Cutler *et al.* 2011), sendo seu estudo, de fundamental importância para o entendimento das relações filogenéticas entre os diferentes táxons das plantas (Souza 2003). Esta ciência também pode auxiliar na identificação de espécimes arqueológicos, podendo ser empregadas na identificação de fósseis para classificação de família e gênero (Cutler *et al.* 2011).

A anatomia da madeira consiste no estudo da estrutura e organização do xilema secundário ou lenho da planta. No Brasil, os primeiros estudos de anatomia de madeiras começaram no século passado, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro e no Laboratório de Ensaios de Materiais da Escola Politécnica de São Paulo, atual Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (Chimelo 1992).

A classificação de uma espécie vegetal, inclusive arbóreas, é realizada considerando principalmente os seus órgãos reprodutores (flores e frutos), como também outras características de órgãos vegetativos como a folha, no entanto, onde ocorre o processo de extração e de transformação da árvore em madeira serrada e outros subprodutos, as características

morfológicas do vegetal necessárias para a identificação taxonômicas passam a não existir mais (Zenid & Ceccantini 2007).

A análise anatômica da madeira tem se mostrado eficiente em resolver problemas de ordem taxonômica, evolutiva e ecológica (Silva *et al.* 2011). Desta forma, a anatomia de madeira tem demonstrado ser, portanto, uma ferramenta alternativa para se obter uma identificação do gênero que deu origem a madeira, com um bom grau de confiabilidade (Zenid & Ceccantini 2007). A correta identificação do material transportado serve de suporte a fiscalização, que pode diminuir a ilegalidade na atividade madeireira (INDEA 2011).

As madeiras comerciais consistem quase inteiramente de xilema secundário, tecido responsável pelo transporte de água e solutos (Cutter 1987). O xilema secundário é um tecido complexo, formando por tipos celulares organizados no sistema axial (vertical) e radial (horizontal), sendo que para observar a sua anatomia, é necessário seccionar a madeira em três planos: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial (Apezzato-da-Glória & Carmello-Guerreiro 2006).

A madeira pode ser analisada em dois diferentes níveis: macroscópico e microscópico. Macroscopicamente, um pequeno bloco de madeira é examinado a olho nu ou com o auxílio de uma lupa de 10x de aumento (Botosso 2009). Coradin & Camargos (2002) listam os caracteres anatômicos macroscópicos usados na identificação de madeiras, tais como tipo de parênquima axial; porosidade, agrupamento e arranjo dos vasos; raios; canais secretores; canais traumáticos, tilos e máculas medulares, além de aspectos organolépticos, como densidade, textura, cor, cheiro, grã (orientação das fibras em relação ao eixo longitudinal) e dureza. No nível microscópico, cortes finíssimos da madeira são obtidos com estes mesmos planos, sendo corados para melhorar a visualização sob microscópio ótico (Coradin & Camargos, 2002), de forma que é possível uma análise mais detalhada, no entanto, faz-se necessário laboratório com equipamentos para preparar e analisar as secções.

A Associação Internacional de Anatomistas de Madeira - IAWA (1989) em sua lista para a identificação de madeiras de folhosas, padroniza as características anatômicas passíveis de análise. Essas características estão relacionadas com o sistema condutor (vasos); sistema de condução e sustentação (traqueídes, fibras); sistema de armazenamento (raio, parênquima); estruturas estratificadas; anéis de crescimento, células oleíferas e mucilaginosas; canais intercelulares, tubos, floema incluso, cristais e sílica (Cury 2002).

1.4.1. Estudos anatômicos do carvão voltados para fiscalização ambiental

A análise anatômica da madeira para fins de identificação exige conhecimentos técnicos específicos e instrumental adequado. Em se tratando de madeira carbonizada, os problemas são ainda mais complexos, pois o analista ainda enfrenta a carência de conhecimentos (Ribeiro 2011). Procedimentos para separação da origem do carvão, se de espécie nativa ou exótica (eucalipto) foram estabelecidos por Vital *et al.* (2014) no “Manual de Identificação de Carvão Vegetal”. Tais procedimentos podem ser aplicados nos pontos de fiscalização, em campo, através da observação de características físicas e análise macroscópica do carvão, de forma que a identificação taxonômica é executada posteriormente, após as coletas de amostras (Vital *et al.* 2014).

1.5. Carbonização da madeira

A carbonização da madeira consiste em aquecê-la até que se atinja a sua decomposição parcial, resultando em produto florestal, além de produtos voláteis condensáveis ou não (Brito & Barrichelo 1981). Para a obtenção do carvão geralmente situa-se na faixa de temperatura de 400° a 1000° graus Celsius (Duboc 2007). A transformação da madeira em carvão pode ser descrita em faixas teóricas de conversão termoquímica da biomassa, onde diferentes fenômenos e produtos são obtidos (Doat & Petroff 1975), citado Brito (1990). A gaseificação, pirólise e carbonização (pirólise lenta) são variações de um mesmo processo (Rocha *et al.* 2004), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Fases teóricas da pirólise da madeira, conforme (Doat & Petrof 1975), citado por Brito (1990).

Fase	Temperatura (°C)	Fenômenos e produtos
1	Até 200	Poucas reações importantes. Perda de umidade, fase endotérmica.
2	200-280	Aumento das reações e da eliminação de gases. A madeira adquire coloração marrom arroxeadada, fase endotérmica.
3	280-350	Grande eliminação de gases. Composição de gases: centenas de componentes químicos orgânicos (alguns recuperáveis como ácido acético, metano, acetona, fenóis e aldeídos, hidrocarbonetos e alcatrões). O resíduo final desta fase é o carvão vegetal, mas que ainda apresenta compostos voláteis em sua estrutura.

4	380-500	Redução da saída de gases. O carvão passa a sofrer uma purificação na sua composição química, com a eliminação do restante dos gases voláteis contendo H e O. O carvão torna-se mais rico em carbono em sua estrutura (carbono fixo). Fase exotérmica.
5	Acima de 500	Degradação do carvão. Término da carbonização e início da gaseificação do carvão. Fase exotérmica.

A carbonização de madeira é o mais antigo dos processos de pirólise de biomassa (Juvillar 1980). A pirólise da madeira e de outros resíduos lignocelulósicos, em particular o processo de carbonização, tem sido desenvolvido no Brasil de forma rudimentar na maioria de suas aplicações. Nesse contexto, alguns estudos teóricos e experimentais, tais como o estudo das características da reação química de pirólise vêm sendo desenvolvidos visando o controle do processo para a obtenção de determinados produtos com uma composição específica.

No Brasil, os fornos de alvenaria (principalmente do tipo “rabo-quente”) ainda são os mais amplamente difundidos na produção de carvão vegetal, respondendo por cerca de 80% da produção (Pinheiro *et al.* 2006). A operação nestes fornos é rudimentar, não sendo possível obter um controle rigoroso dos parâmetros da carbonização (Rocha *et al.* 2004) e o acompanhamento e controle da carbonização é realizado pela coloração da fumaça expelida pela chaminé e inspeção visual das aberturas para entrada de oxigênio (“tatus”) (Mendes *et al.* 1982). Nesse contexto, estudos de rotinas de carbonização e de perfis térmicos dos fornos de alvenaria são escassos, de forma que os estudos encontrados são mais direcionados fornos de superfície com câmara externa, retangulares e sistema forno-fornalha. Sendo assim, a reprodução experimental do regime de carbonização em fornos “rabo-quente” para estudos da anatomia do carvão torna-se bastante complexo, quando se visa aproximar as análises da realidade praticada.

1.5.1 Modificações no lenho

A estrutura anatômica do lenho se mantém após o processo de carbonização (Prior & Alvin 1983; Prior & Gasson 1993; Kim & Hanna 2006; Marguire & Hunot 2007), possibilitando a identificação taxonômica da espécie que deu origem ao carvão a partir das características anatômicas da madeira (Di Pasquale *et al.* 2008; Scheel-Ybert 2000; Gonçalves *et al.* 2008). A

maior parte dos caracteres qualitativos da madeira conserva-se nos carvões (com exceção daqueles organoléticos, tais como cor e cheiro (Scheel 2004). Já parâmetros morfométricos (tamanho das células, a espessura das paredes, o diâmetro dos poros e das pontuações, etc.) podem variar devido à carbonização (Scheel 2004).

Gonçalves (2010) sintetizou trabalhos que permitiu listar uma série de modificações anatômicas características da madeira submetida ao processo de carbonização. Em síntese, as modificações percebidas foram: (i) grande variação em relação à perda de massa por influência principalmente da temperatura, (ii) contração ocorreu sempre de forma anisotrópica; (iii) paredes celulares das fibras, apresentaram camadas indistintas, adquirindo uma aparência homogênea e amorfa; (iv) vasos podem ou não apresentar alterações na sua estrutura, assim como deformações e rompimentos nas membranas das pontuações e tilos; (v) fibras foram as estruturas que mais se alteraram durante a carbonização; (vi) parênquima axial com poucas modificações, permanecendo bem distinto principalmente na seção transversal, podendo ou não conter seu conteúdo; (vii) raios variam de acordo com a sua natureza, mantendo suas características morfológicas iniciais ou ainda, apresentando espaços intercelulares.

1.5.2 Antracologia

A antracologia é uma ciência que tem por princípio a identificação taxonômica do carvão com base na anatomia da madeira, sendo especialmente valiosa e tradicionalmente utilizada pela paleobotânica e arqueologia (Scheel *et al.* 1996a; 1996b; Scheel 2001; 2004; Marguire & Hunot 2007; Hubau *et al.* 2011) para analisar carvões encontrados em escavações arqueológicas e reconstruir as condições paleoambientais do local estudado (Chabal *et al.* 1999).

No Brasil, estudos antracológicos apresentam novas abordagens, sejam elas conservacionistas, tais como para identificação de espécies de procedência irregular ou para fins tecnológicos, tais com caracterização da qualidade do carvão vegetal (Gonçalves 2010, Gonçalves & Scheel 2007). De acordo com Gonçalves *et al.* (2008), a descrição anatômica de lenhos carbonizados é uma ferramenta eficaz que possibilita a identificação taxonômica para fins conservacionistas, além de poder ser utilizada para fins diversos.

Nesse contexto, os lenhos carbonizados de espécies florestais no Brasil vêm sendo caracterizados. Com foco no Cerrado e utilizando uma abordagem microscópica, algumas espécies com potencial lenheiro foram analisadas por Gonçalves *et al.* (2008), em um dos primeiros trabalhos antracológicos do Brasil, assumindo assim o pioneirismo nas pesquisas

voltadas para controle da cadeia comercial do carvão vegetal nativo. Gonçalves (2010) e Gonçalves *et al.* (2012), também descreveu o lenho carbonizado de importantes espécies florestais do Bioma Cerrado. Trevizor (2011) analisou a anatomia do lenho e carvão de 64 espécies da Amazônia. Voltado para as espécies da Caatinga, Leme *et al.* (2010) descreveram as modificações ocorridas na madeira de *Mimosa tenuiflora* e *Mimosa ophthalmocentra* durante a carbonização em temperaturas de 400, 600 e 800° C e França (2015) analisou a estrutura da madeira e carvão de algumas espécies da Caatinga como *Combretum leprosum* e *Jatropha mutabilis*.

Análises anatômicas do carvão com abordagem macroscópica são apresentadas no trabalho de Muniz *et al.* (2012), na descrição de espécies como maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier) e faveira bolacha (*Vatairea guianensis* Aubl.). Hammerer (2011) descreveu a anatomia da madeira e do carvão de 6 espécies nativas do Cerrado com importância econômica e ecológica. Nisgoski *et al.* (2012) descreveram o carvão das espécies *Copaifera langsdorfii* Desf. e *Dipteryx odorata* (Aubl.) e Muniz *et al.* (2013) analisaram o carvão de duas espécies de Sapotaceae.

Mais recentemente, Gonçalves *et al.* (2014) caracterizaram a anatomia do carvão de espécies exóticas do gênero *Corymbia* e *Eucalyptus*.

1.6. Justificativa

1.6.1. Ambiental

O semiárido brasileiro é considerado o espaço mais vulnerável aos impactos das mudanças climáticas e processos de desertificação (Lima *et al.* 2011), de forma que a cobertura vegetal é, talvez, o mais importante dos fatores de controle da desertificação no Semiárido (Sá *et al.* 2010). O desmatamento coloca em risco toda a biodiversidade existente na região e afeta o desenvolvimento e manutenção de atividades econômicas, culturais e sociais e está na essência da reprodução dos ciclos de pobreza (MMA 2010).

A produção de carvão vegetal no Brasil provém de forma predominante, da exploração de florestas nativas, apesar do aumento do carvão produzido através de florestas plantadas (Uhlig *et al.* 2008). Entretanto, o volume de florestas plantadas no Brasil ainda é insuficiente para atender toda a demanda do setor siderúrgico e ainda que as florestas nativas possam ser manejadas sustentavelmente, a maioria da madeira extraída na Caatinga para fazer carvão é ilegal e diretamente relacionada à prática de desmatamento e degradação socioambiental (MMA

2010). A produção de carvão ocorre por meio de processos pouco mecanizados e altamente dependentes de trabalho humano (Uhlig *et al.* 2008), de forma que a convivência humana com o meio natural é marcada pela dependência dos recursos naturais, tendo em vista as imensas dificuldades impostas pelo clima da região (MMA 2010).

1.6.2 Técnica

Os órgãos de comando e controle ambiental desenvolveram ao longo do tempo uma “expertise” para identificação macroscópica de madeiras oriundas de espécies nativas. A macroscopia é analisada utilizando-se lupa conta-fios com aumento de 10x ou até mesmo a olho nu (Botosso 2009). De acordo com Wheeler & Bass (1998), a análise macroscópica da madeira é empregada para determinar mais rapidamente a qual família pertence uma amostra.

Poucos estudos na área de anatomia do lenho carbonizado de espécies florestais nativas possuem uma abordagem macroscópica. Nesse contexto, Muniz *et al.* (2012) também discutem que os poucos estudos anatômicos macroscópicos com carvão vegetal têm como finalidade a identificação forense, sendo que a microscopia apresenta logística limitada e maior custo, devendo ser aplicada apenas para casos mais complexos. Comparativamente à identificação microscópica, a macroscopia tem a vantagem de utilizar instrumentos simples, podendo ser executada em qualquer lugar de forma rápida e prática (Botosso 2009). Portanto, visualização de um grupo de características principais torna-se importante pela sua praticidade, uma vez que, frequentemente não é possível a identificação taxonômica em campo, com indicação de espécie, mas pelas características gerais observadas, alguns grupos podem ser excluídos e outros devidamente indicados (Muniz *et al.* 2012).

Seja em campo, ou em laboratório, é crucial a disponibilidade de informações para auxiliar na discriminação da origem do carvão e identificação da espécie ou gênero da planta que o originou. Tais informações das espécies (nativa ou exótica) precisa ser acessível e prática, tais como uma chave interativa de identificação ou até mesmo um guia prático impresso. Nesse contexto, a Chave Eletrônica Interativa de Madeira elaborado pelo LPF (Coradin *et al.* 2010) representou um grande avanço como ferramenta de auxílio, sendo crucial para a identificação de madeiras nativas. Seria importante, portanto, a iniciativa de elaboração de uma chave para carvão nos moldes da chave de madeira, uma vez que a mesma se mostrou muito bem-sucedida e eficiente, sendo inclusive, exportada para alguns países da América Latina.

Trabalhos sobre a anatomia de lenhos carbonizados de plantas da Caatinga ainda são insuficientes, embora haja aqueles focados em plantas do Cerrado e Amazônia. Desta forma, o levantamento das espécies que mais se destacam no fabrico de carvão vegetal torna-se importantes para direcionar os estudos anatômicos de carvão no bioma. Nesse contexto, destacam-se o angico (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), angico de bezerro (*Piptadenia obliqua* (Pers.) J.F. Macbr), catingueira rasteira (*Caesalpinia microphyla* Ruiz & Pav. ex. A. López), sete-cascas (*Tabebuia spongiosa* Rizzini), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão.), baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), pau d'arco (*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.), catingueira verdadeira rasteira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) e a umburana (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J. B. Gillet) (EMBRAPA 2000). Já Silva (2006) cita as seguintes espécies como as mais utilizadas para obtenção de energia: *Caesalpinia pyramidalis* Tul., a catingueira, *Croton sonderianus* Müell. Arg, o marmeleiro; *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth., a jurema-de-imbira e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., a jurema-preta, ocorrentes na Caatinga de Pernambuco, nos municípios de Serra Talhada e Sertânia. Segundo (Ramos 2007), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. var. cebil (Gris.) Alts.), *Schinopsis brasiliensis*, *Ziziphus joazeiro* Mart. e *Caesalpinia pyramidalis* foram as espécies mais citadas por uma comunidade do interior do Nordeste para utilização como lenha e para a produção de carvão. A jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), jurema-vermelha (*Mimosa arenosa* (Willd.) Poir.) e angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina*) são espécies de ocorrência ampla no Semiárido brasileiro e empregadas para fins energéticos e siderúrgicos (Paes *et al.* 2012).

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Analisar a anatomia da madeira e do carvão de quatro espécies florestais exóticas e cinco espécies florestais nativas do Bioma Caatinga.

2.2 Objetivos Específicos

- Descrever macroscopicamente e microscopicamente o lenho carbonizado de cinco espécies nativas: *Schinopsis brasiliensis* Engl., *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz, *Croton sonderianus* Mull. Arg,

Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan.

- Descrever macroscopicamente o lenho carbonizado de cinco espécies exóticas: *Eucalyptus grandis* W. Hill, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.
- Adicionar amostras diversas de lenho carbonizado de espécies florestais na Antracoteca do LPF/SFB.
- Subsidiar a identificação taxonômica do carvão de cinco espécies da Caatinga.
- Subsidiar a discriminação da origem de carvões, se de planta nativa ou exótica.

3. Metodologia

As espécies nativas lenhosas foram selecionadas conforme o levantamento produzido acerca do uso para produção de lenha carvão, e também, por serem espécies frequentes na Caatinga, conforme Tabela 3. As essências denominadas “eucalipto” foram obtidas do LPF, exceto *Prosopis juliflora*, que foi coletada juntamente com as nativas.

Tabela 3. Espécies exóticas selecionadas para estudo. Amostras provenientes da xiloteca do LPF/SFB (exceto *Prosopis juliflora*).

Nome científico	Família	Nº de tombo na xiloteca do LPF/SFB	Local de coleta pelo LPF
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill	Myrtaceae	3653	Jardim Botânico de Brasília/DF
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Myrtaceae	3645	Embrapa/CPAC/DF
<i>Eucalyptus cloeziana</i> F. Muell.	Myrtaceae	3653	Embrapa/CPAC/DF
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw) D.C.	Fabaceae	5134	PMFS Faz. Jaramataia -

Tabela 4. Espécies lenhosas nativas da Caatinga estudadas e seus respectivos dados.

Espécie	Família	Nº Tombo
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Anacardiaceae	M.F.A Lucena & L.C.R. Silva 3 (UB 179935)
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Fabaceae (Subfamília: Mimosoideae)	M.F.A. Lucena & L.C.R. Silva 2 (UB 177233)
<i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P. Queiroz	Fabaceae (Subfamília: Caesalpinoideae)	M.F.A Lucena & L.C.R. Silva 4(UB 177235)
<i>Croton sonderianus</i> Mull. Arg.	Euphorbiaceae	M.F.A Lucena & L.C.R. Silva 1 (UB 177232)
<i>Anadenanthera</i> <i>colubrina</i> (Vell.) Brenan	Fabaceae (Subfamília: Mimosoideae)	M.F.A Lucena & L.C.R. Silva 5 (UB 177236)

3.1 Coleta de material botânico

O material botânico foi coletado na Caatinga, na região de Patos, PB, dentro do Plano de Manejo Florestal Sustentável da Fazenda Jaramataia, propriedade da empresa Mata Branca Bioenergia e Agroflorestal Ltda, situada dentro das coordenadas 07°16'40,3"S, 36° 50'25,3"W. O PMFS possui Autorização de Exploração emitido pelo órgão competente - Sudema (processo nº 2014/4088).

As espécies foram abatidas em povoamentos naturais, sendo coletados discos de três indivíduos por espécie, entre 05-10 cm de espessura e no mínimo 10cm de diâmetro, na altura do DAP (1,30 m). Evitou-se a coleta de amostras próximas a bifurcações e/ou calosidades, em áreas retorcidas do tronco ou em locais com provável presença de madeira de reação, ocos e outros defeitos. Para indivíduos de ramificação baixa, o DAP foi medido abaixo da primeira bifurcação (IBAMA 1991).

As amostras de madeira foram incorporadas à Xiloteca do Laboratório de Anatomia do

Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro. Seus respectivos ramos foram coletados e herborizados, constituindo exsicatas testemunhas, que foram incorporadas ao Herbário da Universidade de Brasília (UB). A identificação das espécies foi confirmada pela taxonomista da UFCG (*Campus Patos*), Dra. Maria Lucena.

A coleta e transporte das amostras de madeira e material botânico da espécie florestal *Schinopsis brasiliensis* foi autorizada através da “Autorização para atividade com finalidade científica” Número 48284-1, emitida pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO). A emissão da autorização foi necessária por se tratar de espécie da flora nativa ameaçada de extinção.

As amostras de madeira referentes às espécies florestais exóticas foram oriundas de amostras de madeira proveniente do Laboratório de Produtos Florestais (LPF), com exceção da espécie *Prosopis juliflora* (Sw) D.C, que foi coletada no PMFS, juntamente com as espécies florestais nativas. As exsicatas das referidas espécies encontram-se no Herbário do LPF/SFB.

3.2 Preparação do carvão vegetal

Os discos de madeira foram recobertos por papel alumínio e carbonizadas em forno mufla Elektro Therm marca Linn durante 7 h, em regime de rampas e temperatura máxima final de 450°C por 2 h, conforme metodologia utilizada por Muniz *et al.* (2012). Essa etapa foi realizada na Fazenda Água Limpa (FAL), pertencente à Universidade de Brasília. Para a análise anatômica, as superfícies transversais, tangenciais e radiais das amostras foram preparadas através de quebra manual.

3.3 Preparação das amostras de madeira

Para as análises macroscópicas, as amostras de madeira foram orientadas nos três planos anatômicos e posteriormente lixadas, primeiramente em lixadeira elétrica e por fim em lixas manuais. Para as análises microscópicas, os corpos de prova foram amolecidos em autoclave (quando necessário) e seccionados em micrótomo de deslize, onde foram obtidos cortes transversais, tangenciais e radiais, com espessuras entre 10 a 25 μ . Para a confecção das lâminas histológicas, as secções passaram por bateria de álcool (30% a 100%) e foram coradas com corante produzido com a mistura de safranina e astra-blau (1:9, p/p), conforme Kraus & Arduin (1997).

3.4 Estudos anatômicos

Para a descrição de caracteres organolépticos e macroscópicos das madeiras, utilizou-se parâmetros em Normas e Procedimentos em Estudos de Anatomia da Madeira (Coradin & Muniz 1992) e para a descrição macroscópica da madeira carbonizada, utilizou-se esta mesma lista, excluindo-se as características não ocorrentes no carvão. A cor, cheiro, distinção do cerne e albúrnio pela cor não foram incluídas, pois estas características são perdidas no processo de carbonização. As observações macroscópicas foram efetuadas a olho nu e com auxílio de lente de 10x de aumento.

A descrição microscópica da madeira seguiu as normas da International Association of Wood Anatomists - IAWA (1989).

Os parâmetros macroscópicos medidos foram o diâmetro tangencial e frequência de vasos por mm² e largura, altura e frequência de raios por mm, tanto para a madeira quanto para o carvão. A medição dos elementos constituintes foi efetuado utilizando-se o software DP2. Efetuou-se 30 medições para os parâmetros quantitativos macroscópicos. As variações das dimensões entre a madeira e o carvão foi avaliado estatisticamente pelo teste de Tukey (ANOVA) a 95% de probabilidade.

As fotomicrografias foram obtidas através de câmera fotográfica DP25 acoplada ao estereomicroscópio Olympus SZX7 (com até 56x de aumento). Para a obtenção de fotomicrografias do carvão utilizou-se Microscópio Eletrônico de Varredura, modelo JEM 840A - JEOL, pertencente ao Laboratório de MEV do Departamento de Biologia Molecular da Universidade de Brasília.

4. Referências bibliográficas

- Appenzato-da-Glória B & Carmello-Guerreiro SM. 2006. Anatomia Vegetal (2. Ed). Editora UFV, Viçosa.
- Botosso PC. 2009. Identificação macroscópica de madeira: guia prático e noções básicas para o seu conhecimento. Documentos 194. Embrapa Florestas.
- Brito JO. 1990. Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais. São Paulo Energia. 64: 221-227.
- Brito JO & Barrichelo, LEG. 1981. Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeira da Amazônia. Instituto de Pesquisas Florestais (IPEF). Sér. Téc. 2: 1–25.
- Chabal L, Fabre L, Terral JF & Théry-Parisot I. L'Anthracologie. In: Ferdière A, Bourquin--Mignot CH, Brochier JE, Chabal L, Crozat S, Fabre L, Terral JF & Théry-Parisot I. (Eds). 1999. La Botanique. Colletion "Archéologiques": 43 – 104. Paris.
- Chimelo JP. 1992. Identificação de madeiras. Curso de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Madeiras: ESALQ/USP, São Paulo.
- Coradin VTR, Camargos JAA, Pastore TCM & Christo AG. 2010. Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos - Brazilian commercial timbers: interactive identification key based on general and macroscopic features. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais, Brasília.
- Coradin VTR & Muniz, GIB. 1992. Normas e procedimentos em estudo da anatomia da madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília.
- Coradin VTR & Camargos JAA. 2002. A estrutura anatômica da madeira e princípios para sua identificação. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Diretoria de Florestas. Laboratório de Produtos Florestais, Brasília.
- Cury G. 2002. Descrição da estrutura anatômica do lenho e sua aplicação na identificação de espécies arbóreas do Cerrado e da Mata Atlântica do Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado: 125p. ESALQ/ USP, Piracicaba.
- Cutler DF, Botha T & Stevenson DWM. 2011. Anatomia vegetal. Uma abordagem aplicada: 304p. Artmed Editora, Porto Alegre.

- Cutter EG. 1987. Anatomia vegetal. Parte II. Órgãos. Experimentos e interpretação: 330p. Roca (2° ed), São Paulo.
- Duboc E. 2007. Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado: 37p. Embrapa Cerrados, Brasília.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2000. Avaliação e identificação de ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. Embrapa, Petrolina. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org/caatinga/relatorios>. Acessado em: 07/11/2014.
- Gonçalves TAP. 2010. Anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas do Cerrado no estado de São Paulo, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.
- Gonçalves, TAP, Rangel, A & Scheel, R. 2008. Caracterização anatômica do lenho carbonizado de espécies comuns do cerrado: subsídio a estudos antracológicos e conservacionistas. In: IX Simpósio Nacional Cerrado e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. Anais. Embrapa Cerrados, Brasília.
- Gonçalves, TAP & Scheel, R. 2007. Contribuição da antracologia no controle da produção de carvão vegetal no Brasil. In: Jornada Fluminense de Botânica, 26. Resumos, Rio de Janeiro. JFB, Itatiaia.
- Gonçalves, TAP, Marcati, CR & Scheel-Ybert, R. 2012. The effect of carbonization on wood structure of *Dalbergia violacea*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Tapirira guianensis*, *Vochysia tucanorum*, and *Pouteria torta* from the Brazilian Cerrado. IAWA Journal 33: 73–90.
- Gonçalves, TAP, Ballarin, AW, Nisgoski, S & Muñoz, GIB. 2014. A Contribution to the identification of charcoal origin in Brazil – Anatomical characterization of *Corymbia* and *Eucalyptus*. Maderas. Ciencia Y tecnologia, 16: 323–336.
- Hammerer, SC. 2011. Anatomia da madeira e do carvão do Cerrado: uma abordagem básica, ecológica e aplicada. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- Hubau, W, Bulcke, JVD, Kitin, P, Mees, F, Acker, JV & Beeckman, H. 2012. Charcoal identification in species-rich biomes: A protocol for Central Africa optimised for the Mayumbe forest. Review of Palaeobotany and Palynology. 171: 164–178.

- IAWA Committee. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. E.A. Wheeler; P. Baas & Gasson (Eds.). IAWA Bulletin 10: 219 - 332.
- Instituto de Defesa Agropecuária do Estado do Mato Grosso (INDEA). 2011. Disponível em: <<http://www.indea.mt.gov.br>>. Acessado em: 11/03/2015.
- Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). 2010. Relatório Técnico do Monitoramento do Bioma Caatinga – 2002 a 2008. Centro de Sensoriamento Remoto (CSR), Brasília. Disponível em <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/caatinga/caatinga.htm>>. Acessado em: 10/11/2014.
- Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). 1991. Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: I Angiospermae. II Gimnospermae. Diretoria de incentivo à pesquisa e divulgação/Laboratório de Produtos Florestais. Série técnica n. 15.
- Instituto Ethos, Avina, Rede Nossa São Paulo & WWF. 2012. Combate à devastação ambiental e trabalho escravo na produção do ferro e do aço. Amazônia, Cerrado e Pantanal. Programa responsabilidade social, São Paulo.
- Juvillar, JB. 1980. Tecnologia de transformação de Madeira em Carvão. *In*: Uso da madeira para fins energéticos. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC. 1: 67-82.
- Kim, NH & Hanna, RB. 2006. Morphological characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. Wood Science and Technology. 40: 392–401.
- Kraus JE & Arduin M. 1997. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Seropédia: Edeir. 198 p.
- Leme, CLD, Cartwright, C & Gasson, P. 2011. Anatomical changes to the wood of *Mimosa ophthalmocentra* and *Mimosa tenuiflora* when charred at different temperatures. IAWA Journal 31: 333–351.
- Lima RCCL, Cavalcante AMB & Perez-Martin AM. 2011. Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro (Editores). Instituto Nacional do Semiárido, Campo Grande.
- Vital BR, Carneiro AC, Cruz FM, Ribeiro KVG, Loures NG & Nacif P. 2014. Manual de Identificação de carvão vegetal. Editora UFV, Viçosa.
- Marguire, D, Hunot, JY. 2007. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. Journal of Archaeological Science, New York. 34: 1417-1433.

- Mendes, MG, Gomes, PA & Oliveira, JB. 1982. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: Produção e utilização do carvão vegetal.: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, Belo Horizonte. 75-89.
- Ministério de Minas e Energia (MME). 2014. (Brasil). 2014. Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2010. Subsídios para a Elaboração do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga. MMA, Brasília.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2011. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado. MMA, Brasília.
- Muniz, GIB, Nisgoski, S, Zatt Shardosin, F & França, RF. 2012. Anatomia do carvão de espécies florestais. Revista Cerne. 18.
- Muniz, GIB, França, RF, Fiorese, AE & Nisgoski, S. 2013. Análisis de la estructura anatómica de la madera y del carbón de dos especies de Sapotaceae. Maderas. Revista Ciencia y tecnología.
- Nisgoski, S, Muniz, GIB, Batista, FRR & Francielli RR. Anatomia do Lenho Carbonizado de *Copaifera cf. langsdorfii* Desf. E *Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild. 2012. Ciência da Madeira. 03.
- Brasil. Presidência da República. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. 2012. Casa Civil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acessado em: 08/11/2014.
- Paes JB, Lima CR, Oliveira E & Santos HCM. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de três espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. Ciência da madeira. 3: 1-10.
- Pinheiro PCC, Sampaio RS & Filho JGB. 2006. Proposta de uma nova organização da produção de carvão vegetal em fornos de alvenaria. Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering – ENCIT, Curitiba. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/anais/encit/2006/arquivos/Energy/CIT06-0942.pdf>. Acessado: 20/12/2015.
- Prior, J & Alvin, KL. 1983. Structural changes on charring woods of *Dichrostachys* and *Salix* from southern Africa. IAWA Bulletin. 04: 197–206.
- Prior, J & Gasson, P. 1993. Anatomical changes on six African hardwoods. IAWA Journal. 14: 77–86.

- Ramos MA. 2007. Plantas usadas como combustível em uma área de Caatinga (Nordeste do Brasil): Seleção de espécies, padrões de coleta e qualidade do recurso. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Ribeiro MP. 2011. Implementação de metodologia para análise botânica em carvão vegetal. Instituto de Análises Laboratoriais Forenses (IALF). Polícia Civil do Mato Grosso do Sul. Disponível em: <http://www.escolagov.ms.gov.br/control/ShowFile.php?id=99493>. Acesso em: 12/03/2015.
- Rocha JD, Pérez JMM & Cortez LAB. 2004. Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa. Curso internacional “Energia na Indústria de Açúcar e Álcool” - UNIFEI, Itajubá.
- Serviço Florestal Brasileiro (SFB). 2014. Assessoria de Comunicação. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/noticias-do-sfb/servico-florestal-capacita-policiais-militares-de-goias-e-do-df-em-identificacao-de-madeira>>. Acessado em: 11/03/2015.
- Scheel-Ybert, R. 2000. Vegetation stability in the Southeastern Brazilian coastal area from 5500 to 1400 C yr BP deduced from charcoal analysis. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 110: 111-138.
- Scheel, R, Gaspar, MD & Ybert, JP. 1996a. A anatomia dos carvões pré-históricos. *Arqueologia encontra respostas em restos de fogueiras e incêndios florestais*. *Ciência Hoje*. 21: 66–69.
- Scheel, R, Gaspar, MD & Ybert, JP. 1996b. Antracologia, uma nova fonte de informações para a arqueologia brasileira. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*. 6: 3–9.
- Scheel R. 2001. Man and Vegetation in Southeastern Brazil during the Late Holocene. *Journal of Archaeological Science*, New York. 28: 471–480.
- Scheel R. 2004. Teoria e métodos em antracologia. 1: Considerações teóricas e perspectivas. *Arquivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro. 62: 3–14.
- Silva LB. 2006. Variação na estrutura da madeira de quatro espécies da Caatinga nordestina e seu potencial para o desenvolvimento sustentável. UEFS. Tese (dissertação de mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santana.
- Souza LA. 2003. Morfologia e Anatomia vegetal: célula, tecidos, órgãos e plântula. Editora UEPG, Ponta Grossa.
- Trevizor TT. 2011. Anatomia comparada do lenho de 65 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical amazônica no estado do Pará. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Dissertação de Mestrado em

- Recursos Florestais. [acesso 2016-08-14]. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-02082011-132019/>>.
- Uhlig, A, Goldemberg, J & Coelho, ST. 2008. O uso do carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Energia*. 14: 67-85
- Zanine, AM, Santos, EM, Ferreira, DJ, Almeida, JCC, Macedo Junior, GL & Oliveira, JS. 2005. Composição bromatologica de leguminosas do semiárido brasileiro. *Livestock Research for Development*. 17: 15.
- Zenid GJ & Ceccantini CT. 2007. Identificação macroscópica de madeiras. Laboratório de Madeira e Produtos Derivados Centro de Tecnologia de Recursos Florestais Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo.
- Zuchi PS. 2000. Avaliação Ergonômica do trabalho na atividade de carvoejamento. IN: 1º. Simpósio Brasileiro sobre ergonomia e segurança do trabalho florestal e agrícola. Belo Horizonte, MG.
- Wheeler, EA & Baas, P. 1998. Wood identification – A Review. *IAWA Journal*. 19: 03.

CAPÍTULO I

ANATOMIA DA MADEIRA E DO CARVÃO DE CINCO ESPÉCIES DA CAATINGA

Lidiane Cristina Ribeiro Silva, Vera Teresinha Rauber Coradin, Maria de Fátima Araújo Lucena,
Carlos Roberto de Lima, Sueli Maria Gomes

ANATOMIA DA MADEIRA E DO CARVÃO DE CINCO ESPÉCIES DA CAATINGA

Lidiane Cristina Ribeiro Silva¹, Vera Teresinha Rauber Coradin², Maria de Fátima Araújo Lucena³, Carlos Roberto de Lima⁴, Sueli Maria Gomes^{5,6}

RESUMO

Esforços têm sido envidados para controlar a cadeia do carvão vegetal produzido ilegalmente no Brasil. Uma importante contribuição seria a caracterização de lenhos carbonizados como forma de identificar sua origem (se exótica ou nativa) e a espécie que originou o carvão. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a madeira e o carvão de cinco espécies arbóreas nativas da Caatinga e subsidiar a fiscalização ambiental. O material botânico foi coletado na região de Patos/Paraíba. Foram coletados discos de madeira de *Schinopsis brasiliensis*, *Mimosa tenuiflora*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton sonderianus* e *Anadenanthera colubrina*. Corpos de prova de madeira foram seccionados nas dimensões transversal, tangencial e radial, para análise macro e micro. Discos de madeira foram carbonizados em forno mufla durante 7 hs para análise do carvão. Para a descrição macro, baseou-se em Normas e Procedimentos em Estudos de Anatomia da Madeira. Já para a descrição micro seguiu-se a lista da IAWA. As variações das dimensões entre a madeira e o carvão foi avaliado pelo teste de Tukey. Apesar de algumas modificações, as características qualitativas permanecem, permitindo o processo de identificação do gênero/espécie que o originou. São peculiaridades da anatomia do carvão das espécies analisadas que a distinguem uma das outras: anéis individualizados por parênquima marginal; parênquima vasicêntrico, aliforme linear e losangular e vasos pouco obstruídos (*Mimosa tenuiflora*); parênquima confluyente em trechos curtos e longos, às vezes formando faixas, raios pouco contrastados na radial, estratificação dos raios (*Poincianella pyramidalis*); anéis individualizados por zonas fibrosas escuras e parênquima marginal mal demarcado, parte dos vasos obstruídos, parênquima vasicêntrico (*Anadenanthera colubrina*); anéis individualizados por zonas fibrosas escuras e parênquima marginal, vasos obstruídos, parênquima vasicêntrico, canais radiais grandes (*Schinopsis brasiliensis*); anéis individualizados por anéis semi-porosos e zonas fibrosas escuras, raios pouco contrastados na radial (*Croton sonderianus*). Os seguintes caracteres ficaram mais evidentes no carvão: contraste dos raios, visibilidade dos raios, agrupamento dos vasos, parênquima marginal. Já tais caracteres apresentaram limitações na visibilidade: parênquima paratraqueal escasso e unilateral, apotraqueal difuso e difuso em agregados. Análises sob MEV são importantes para a observações detalhadas, sendo requisitadas em identificações forenses onde a abordagem macro não se mostre capaz de oferecer um direcionamento taxonômico.

Palavras chave: antracologia, identificação de carvão, carbonização, Caatinga

¹ Mestre em Botânica - Universidade de Brasília (Unb), Instituto de Biologia, Departamento de Botânica. Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP: 70910-900. Brasília/DF, Brasil.

² Phd. Analista Ambiental aposentada do Serviço Florestal Brasileiro (SFB). Brasília/DF, Brasil.

³ Professora da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - campos Patos. Avenida Universitária. CEP: 58708-110. Patos/PB.

⁴ Professor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - campos Patos. Avenida Universitária. CEP: 58708-110. Patos/PB.

⁵ Professora da Universidade de Brasília (Unb), Instituto de Biologia, Departamento de Botânica. Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP: 70910-900. Brasília/DF, Brasil.

⁶ E-mail para correspondência: suelimariagomes@gmail.com

ABSTRACT

Efforts have been made to control the chain of charcoal produced illegally in Brazil. An important contribution would be the characterization of carbonized wood as way to identify their origin (exotic or native) and the species that originated the charcoal. The objective of this study was to characterize anatomically the wood and charcoal of five native species of Caatinga and support the monitoring in the control of illegal charcoal trade. The botanical material was collected in the region of Patos / Paraíba. The wood discs samples collected were: *Schinopsis brasiliensis*, *Mimosa tenuiflora*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton sonderianus* and *anadenanthera colubrina*. Wood specimens were sectioned in the transverse, tangential and radial dimensions for macro and micro analysis. Wood discs were carbonized in a muffle furnace for 7 hours for analysis of charcoal. For the macro description, it was based on Rules and Procedures in the Wood Anatomy Studies and for the micro description followed by the list of IAWA. Variations in dimensions between wood and charcoal was evaluated by Tukey test. Despite some changes, the qualitative characteristics remain, allowing the genre/species identification process that originated it. Are peculiarities of charcoal anatomy of the analyzed species that distinguish one from the other: rings individually by marginal parenchyma; vascentric paratracheal parenchyma, aliforme linear, lozenge and little clogged vessels (*Mimosa tenuiflora*); paratracheal parenchyma confluent in short and long stretches, sometimes forming bands, little contrasted rays in radial stratification of rays in tangential (*Poincianella pyramidalis*); rings individualized by dark fibrous areas and poorly demarcated marginal parenchyma of the blocked vessels, vascentric paratracheal parenchyma (*Anadenanthera colubrina*); rings individualized by dark and marginal parenchyma fibrous areas, obstructed vessels, vascentric paratracheal parenchyma, large radial channels (*Schinopsis brasiliensis*); rings individually by semi-porous fibrous rings and dark areas, vessels porosity semi-porous rings, little contrast in the radial spokes (*Croton sonderianus*). The following characters were more evident in the coal: contrast rays, visible rays, grouping of vessels, marginal parenchyma. Already such characters had limitations in visibility: rare and unilateral paratracheal parenchyma diffuse and diffuse apotracheal in aggregate. Analysis under SEM are important for the detailed observations are required in forensic identifications where the macro approach does not show able to offer a taxonomic direction.

Key words: anthracology, charcoal identification, carbonization, Caatinga

INTRODUÇÃO

O desmatamento e a exploração predatória ocorrem na Caatinga principalmente para satisfazer demandas por carvão vegetal e lenha, atendendo às necessidades domésticas e principalmente industriais, sobretudo dos polos siderúrgicos, gesso, de cal, cerâmica e ferro-gusa (MMA 2010). O desmatamento da Caatinga alcançou cerca de 375 mil km² em 2008, sendo que de 2002 a 2008, a supressão de mais 16.576 km² contribuiu para a redução da sua cobertura original em alarmantes 43,38% (IBAMA 2010). Esforços têm sido envidados para controlar a cadeia do carvão vegetal produzido ilegalmente neste bioma. Uma importante contribuição seria a caracterização de lenhos carbonizados como forma de identificar taxonomicamente sua origem a partir das plantas nativas.

A descrição anatômica de lenhos carbonizados é uma ferramenta eficaz na identificação taxonômica para fins conservacionistas, além de poder ser utilizada para diversos fins (Gonçalves *et al.* 2008) e constitui uma ciência, a Antracologia. No Brasil, esta ciência tem sido direcionada recentemente, para a identificação, fiscalização e controle do carvão vegetal produzido ilegalmente no Brasil.

Poucos estudos na área de anatomia do lenho carbonizado de espécies florestais nativas possuem uma abordagem macroscópica, destacando-se os trabalhos de Muniz *et al.* (2012) e Muniz *et al.* (2013). Tal abordagem é amplamente utilizada pelos órgãos de comando e controle ambiental na fiscalização de madeira, consistindo na análise da superfície da madeira sob lupa com aumento de dez vezes ou até mesmo a olho nu (Botosso 2009). Comparativamente à abordagem microscópica, a macroscopia tem a vantagem de utilizar instrumentos simples, podendo ser executada em qualquer lugar de forma rápida e prática (Botosso 2009). Nesse contexto, Muniz *et al.* (2012) argumentam que uma abordagem microscópica apresenta um custo maior e logística limitada e destacam que, mesmo diante das limitações desta abordagem, são poucos os estudos anatômicos macroscópicos (de mais fácil aplicação) com a finalidade de identificação forense. Seja em campo, ou em laboratório é crucial a disponibilidade de uma base de dados para discriminação da origem do carvão e identificação da espécie ou gênero da planta que a originou.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar macro e microscopicamente a madeira e o carvão de cinco espécies arbóreas nativas da Caatinga e, destarte, contribuir para a fiscalização do comércio ilegal de carvão vegetal.

Materiais e Métodos

Material botânico

O material botânico foi coletado na Caatinga, na região de Patos/Paraíba, a 07°16'40,3"S, 36° 50'25,3"W. Foram coletados discos de madeira de três indivíduos diferentes de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae), *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (Fabaceae), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Fabaceae), *Schinopsis brasiliensis* Engl. (Anacardiaceae) e *Croton sonderianus* Mull. Arg (Euphorbiaceae) com 5-10 cm de espessura e no mínimo 10cm de diâmetro na altura do peito (1,30 m).

Preparo do material

Os corpos de prova foram obtidos a partir de uma fração dos discos de madeira, sendo seccionados nos planos transversal, tangencial e radial, e submetidos à lixadeira elétrica e lixas manuais com granulometria de até 800. Parte das amostras foi destinada às observações macroscópicas e sob microscópio eletrônico de varredura (MEV). A outra parte foi usada nas análises microscópicas, onde os corpos de prova foram amolecidos em autoclave (apenas *Schinopsis brasiliensis*) e seccionados em micrótomo de deslize. Secções transversais, longitudinais tangenciais e longitudinais radiais foram obtidas com uma espessura de 10-25 μ .

O restante dos discos de madeira foi recoberto por papel alumínio e carbonizado em forno mufla Elektro Therm marca Linn, durante 7h, em regime de rampas e temperatura máxima de 450°C por 2h (conforme Muniz *et al.* 2012). As superfícies transversais, longitudinais tangenciais e longitudinais radiais das amostras carbonizadas foram obtidas por meio de quebra manual, para as observações macro e microscópicas.

Análises anatômicas

Para a descrição macroscópica da madeira carbonizada, utilizou-se a lista de caracteres para madeira (Coradin & Muniz 1992), excluindo-se as características não ocorrentes no carvão.

A descrição microscópica da madeira e carvão seguiu as normas da International Association of Wood Anatomists - IAWA (1989).

As observações macroscópicas foram efetuadas a olho nu e com auxílio de lupa de 10X de aumento. As fotomicrografias foram efetuadas com 20x de aumento, uma vez que se comparou a acuidade visual direta com a lupa *versus* a acuidade de 20x no estereomicroscópio.

Os parâmetros macroscópicos mensurados foram o diâmetro tangencial e frequência de vasos por mm² e largura, altura e frequência de raios por mm. A mensuração dos elementos constituintes foi efetuado utilizando-se o software DP2-BSW, onde foram realizadas trinta medições por parâmetro. As variações das dimensões entre a madeira e o carvão foi avaliado estatisticamente pelo teste de Tukey (ANOVA) a 95% de probabilidade.

As fotomicrografias foram obtidas através de câmera fotográfica DP25, acoplada ao estereomicroscópio Olympus SZX7. Utilizou-se um filtro de papel A4 na luz do estereomicroscópio, para redução de intensidade. Desta forma, pode-se analisar as superfícies de forma adequada e se obter imagens com a vitrificação das fibras. A vitrificação das fibras (aspecto claro, como de vidro) é essencial para a criação do contraste com o parênquima, que com este método consegue ganhar um aspecto escurecido.

Para a obtenção de fotomicrografias da madeira, utilizou-se a câmera acoplada ao microscópio BH-2 Olympus, e para o carvão utilizou-se Microscópio Eletrônico de Varredura, modelo JEM 840A - JEOL, pertencente ao Laboratório de MEV do Departamento de Biologia Molecular da Universidade de Brasília.

Resultados

As amostras de carvão de todas as espécies analisadas apresentaram rachaduras macromorfológicas nos sentidos dos raios, camada de crescimento e entre o alburno e a casca. Em algumas amostras de *Schinopsis brasiliensis* e *Mimosa tenuiflora*, o cerne sofreu considerável desconformação, apresentando abundantes microfissuras no sentido dos raios e gerando uma superfície fortemente rugosa. O alburno das espécies manteve-se mais intacto que o cerne.

A seguir, as descrições macroscópicas e microscópicas das espécies analisadas. Cada descrição refere-se à madeira e ao carvão, simultaneamente, ou em alguns casos, apenas madeira.

RODIDEAS I – FABALES – FABACEAE

Mimosa tenuiflora (Fig. 1 - 3, Tabela 1, 2)

Macroscopia

Caracteres gerais: **Madeira** com brilho; cheiro perceptível e agradável; moderadamente dura a dura; textura fina; figura de aspecto fibroso pelo contraste entre fibras e parênquima axial. **Cerne** amarronzado, distinto do alburno pela cor; **anéis de crescimento** com limites distintos devido ao parênquima marginal (Fig. 1a, 1b). **Vasos/poros** visíveis a olho nu; pequenos; de porosidade difusa; frequência alta; proporções semelhantes de vasos solitários e em múltiplos radiais; múltiplos radiais com até 7 vasos; formato circular a oval; placas de perfuração visíveis com lente de 10X; poucos obstruídos, tilos na madeira e carvão e depósito de cor amarelada, na madeira. **Parênquima axial** visível a olho nu; paratraqueal aliforme linear e losangular; vasicêntrico, confluyente em trechos curtos oblíquos e confluyente em trechos longos, formando faixas; em faixas estreitas ou linhas. **Raios** visíveis a olho nu na superfície transversal e apenas com lente de 10X na tangencial, pouco contrastados na superfície radial; finos, baixos e muito frequentes.

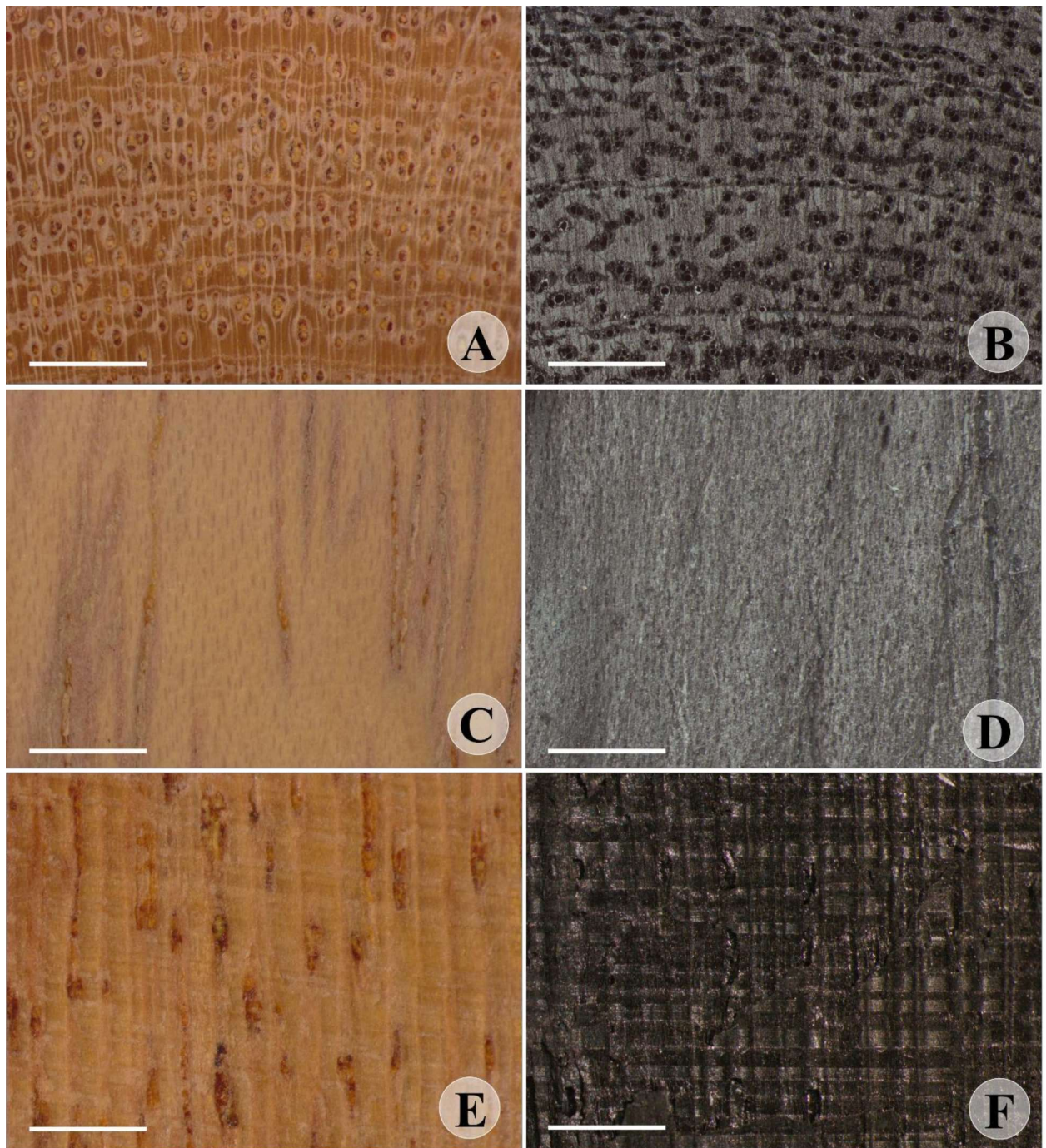


Figura 1. *Mimosa tenuiflora*. Macroscopia da madeira (esquerda) e do carvão (direita) das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Escala: 100 μ m. Notar raios com aspecto esbranquiçado na superfície radial do carvão (F).

Microscopia

Anéis de crescimento distintas, em linha marginal com até 2 células de largura. **Vasos** porosidade difusa; solitários e múltiplos, com até 7 radiais e até 5 em cachos; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas circulares, guarnecidas; pontoações radio-vasculares semelhantes às intervasculares em tamanho e forma; tilos na madeira e no carvão, depósitos nos vasos do cerne. **Fibras** libriformes com pontoações simples ou com aréolas muito reduzidas; espessura da parede espessa a muito espessa. **Parênquima axial** paratraqueal aliforme linear e losangular, às vezes em linhas de até 2 células de largura; confluyente em trechos curtos oblíquos até longos tendendo a formar faixas, vasicêntrico e em faixas marginais; comprimento 2 a 4 células por série. **Raios** predominantemente multisseriados, 2-4 células de largura, unisseriados raros; raio exclusivamente com células procumbentes. **Inclusões minerais** cristais em células subdivididas do parênquima axial e nas fibras.

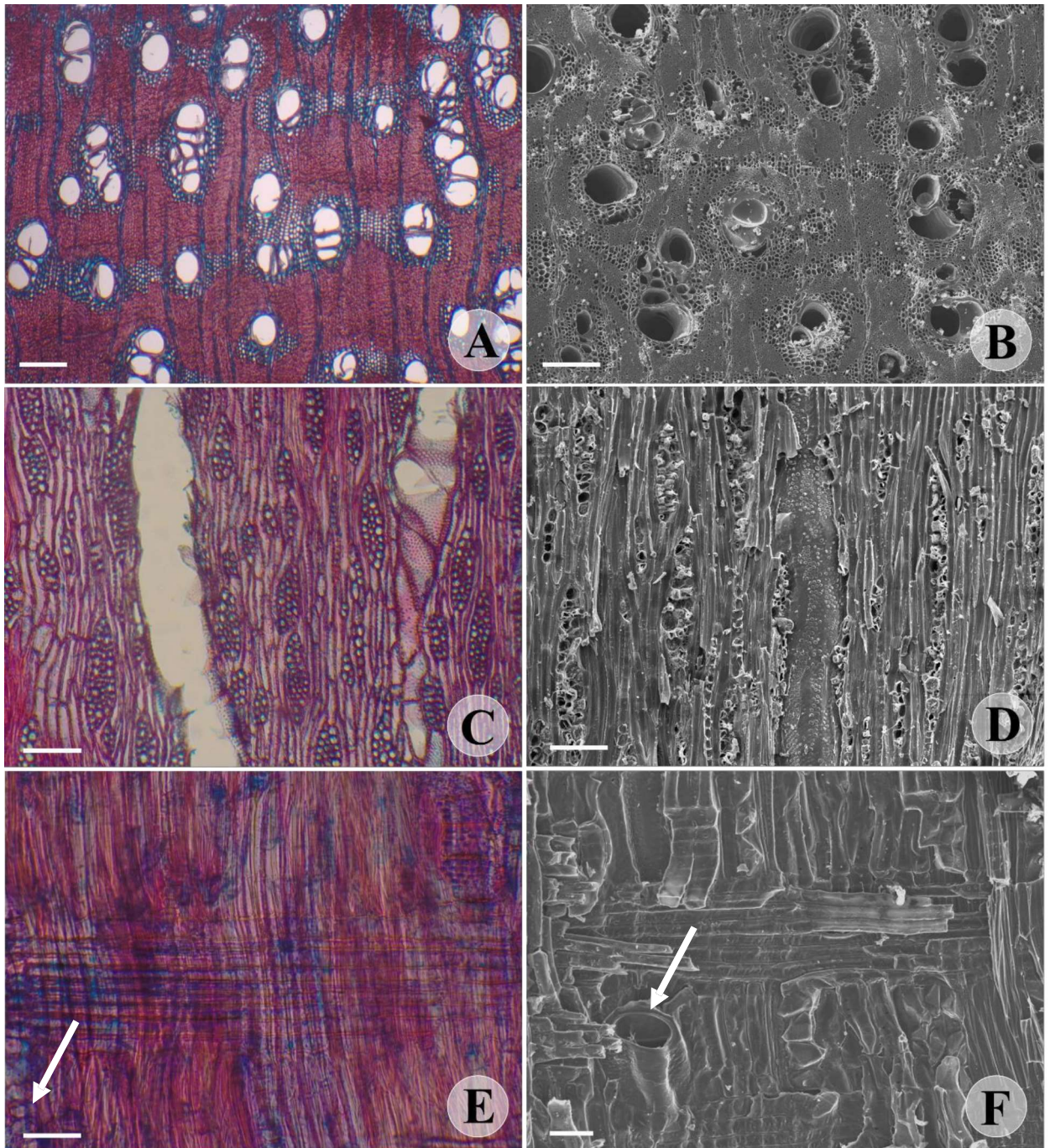


Figura 2. *Mimosa tenuiflora*. Microscopia da madeira (A, C, E) e do carvão (B, D, F). Parênquima confluyente em trechos curtos e aliforme linear (A, B), raios multisseriados (C, D), exclusivamente procumbentes (E, F), cristais em células subdividas do parênquima axial (E, seta), placa de perfuração simples (F, seta). Escalas: A = 200 μ m; B, D, E = 100 μ m; C = 50 μ m; F = 10 μ m.

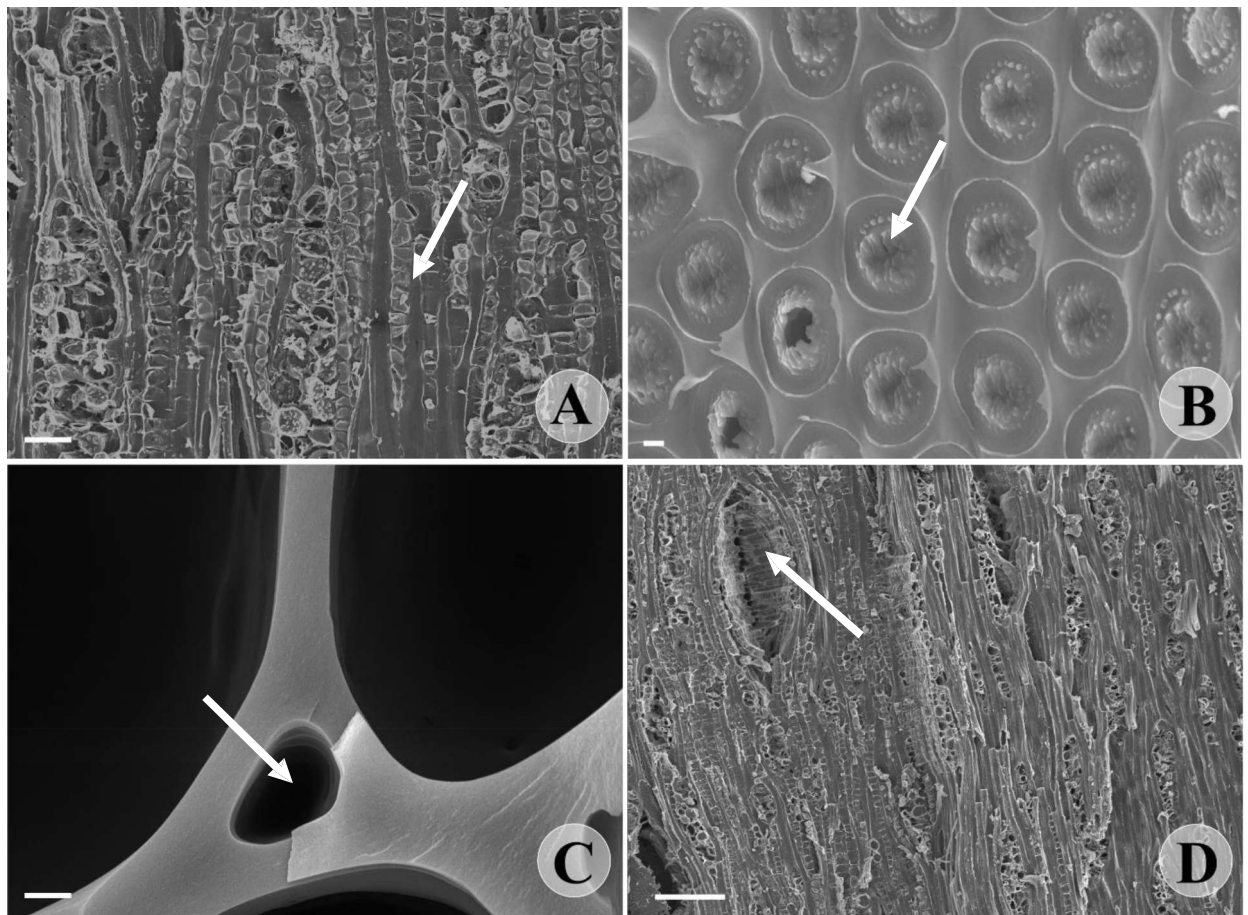


Figura 3. Carvão de *Mimosa tenuiflora* em MEV (superfícies A-B, D, tangenciais e C, transversal). Séries parenquimáticas contendo cristais (A, seta), pontoações intervasculares alternas guarnecidas (B, seta), espaço intercelular na parede de célula parenquimática (C, seta), ruptura axial em raio multisseriado (D, seta). Escalas: A & C = 10 μ m; B = 1 μ m, D = 100 μ m.

Poincianella pyramidalis (Figura 4 - 6, Tabela 1, 2)

Macroscopia

Caracteres gerais: Madeira sem brilho; cheiro imperceptível; macia; textura fina. **Cerne:** amarronzado; distinto do alborno pela cor; **anéis de crescimento com** limites distintos devido ao parênquima marginal. **Vasos** visíveis apenas sob lente de 10x; diâmetro pequeno; porosidade difusa; frequência alta; predominantemente múltiplos radiais com até 7 vasos; formato circular a oval; poucos vasos obstruídos por depósito de aspecto amarelado, na madeira. **Parênquima axial** observado a olho nu na madeira e apenas com auxílio de lente de 10x no carvão; paratraqueal confluyente em trechos curtos oblíquos e confluyente em trechos longos formando faixas; aliforme losangular; apotraqueal em faixas marginais. **Raios** observados apenas com lente de 10x na superfície transversal e não observado mesmo sob lente de 10x na superfície tangencial; pouco contrastados na superfície radial; finos; baixos e muito frequentes.

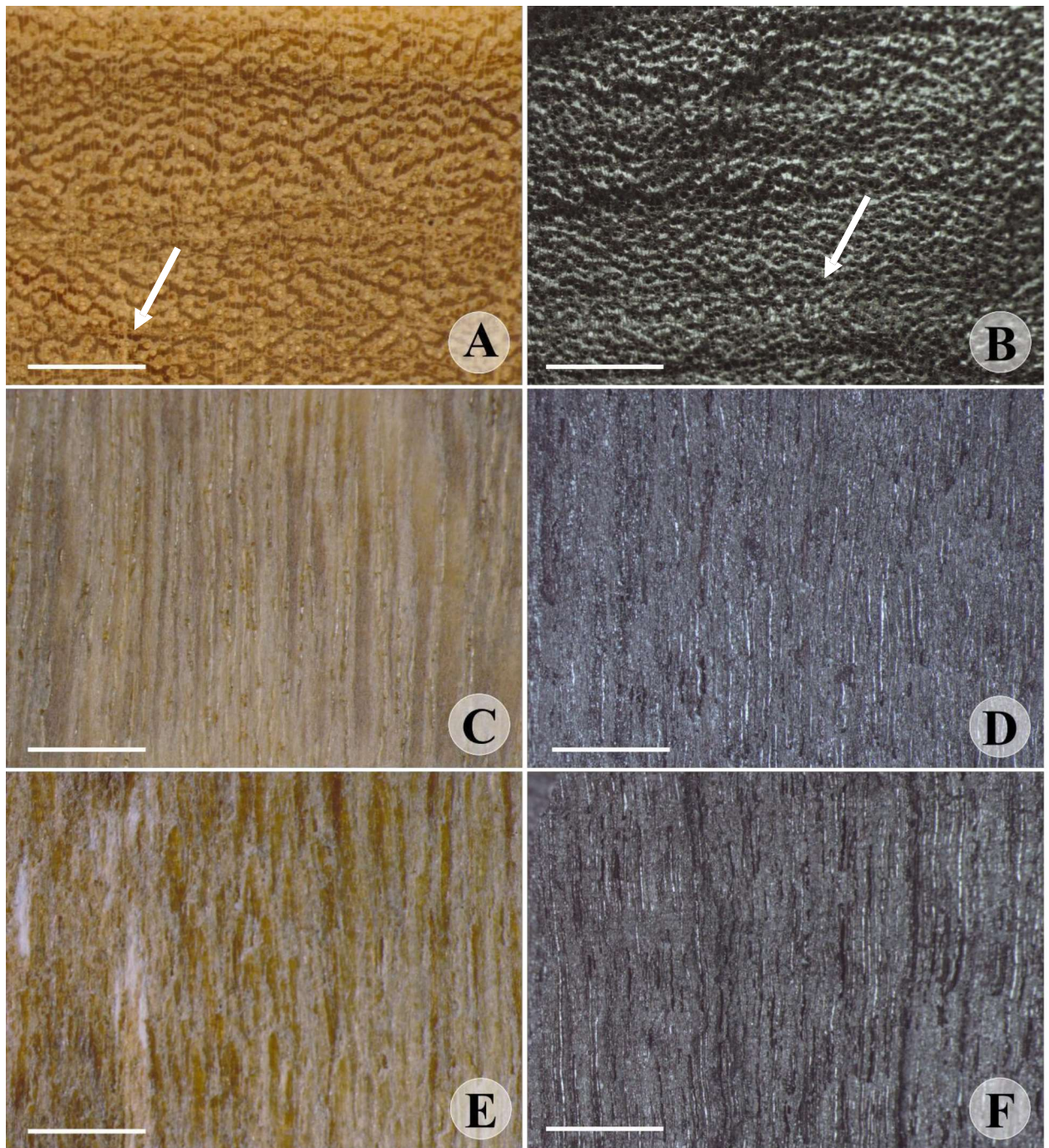


Figura 5. *Poincianella pyramidalis*. Microscopia da madeira (esquerda) e do carvão (direita) das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Anéis de crescimento individualizados por parênquima marginal (A, B, seta). Escala: 100 μ m.

Microscopia

Anéis de crescimento distinta, demarcadas por parênquima marginal com até 2 células de largura. **Vasos** porosidade difusa; solitários e múltiplos com até 5 vasos; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas poligonais, guarnecidas; pontoações radio-vasculares semelhantes às intervasculares em tamanho; depósito de tilos na madeira e no carvão (pouco frequente). **Fibras** libriformes com pontoações simples ou com aréolas muito reduzidas; espessura da parede espessa a muito espessa. **Parênquima axial** paratraqueal confluyente em trechos curtos oblíquos e confluyente em trechos longos formando faixas mais raramente; linhas marginais de até 2 células; comprimento da série de 1 a 2 células. **Raios** unisseriado e bisseriado, contendo 1 a 2 células de largura; composto exclusivamente por células procumbentes. **Inclusões minerais** cristais em células subdivididas do parênquima axial e nas fibras. **Estratificação** nos raios, parênquima axial, vasos e fibras.

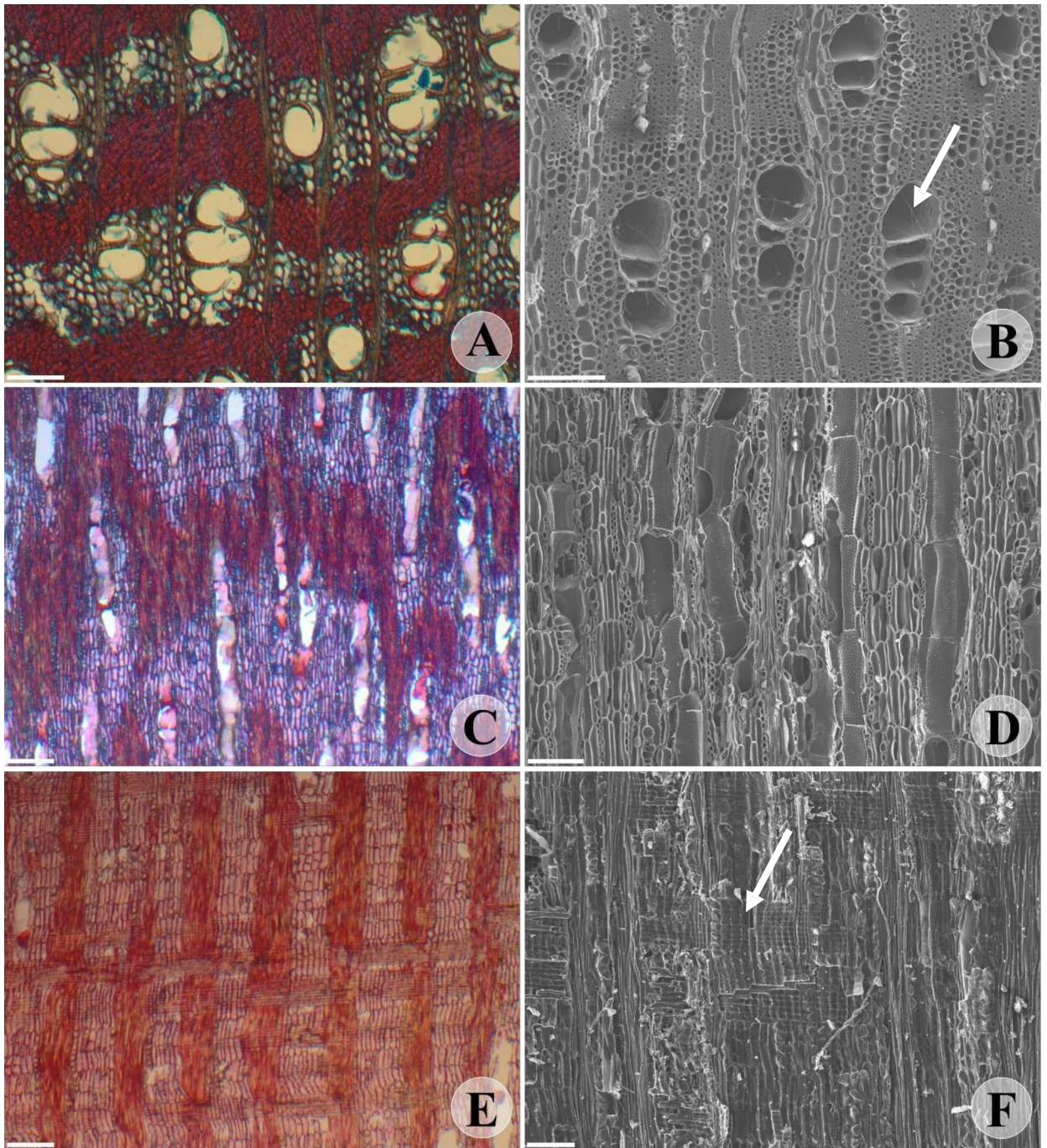


Figura 6. *Poincianella pyramidalis*. Microscopia da madeira (A, C, E) e do carvão (B, D, F) das superfícies transversal, tangencial e radial. Vasos múltiplos (A, B, seta); parênquima confluyente em trechos longos (A, B); raios exclusivamente procumbentes (E, F, seta). Escala: 100 μ m.

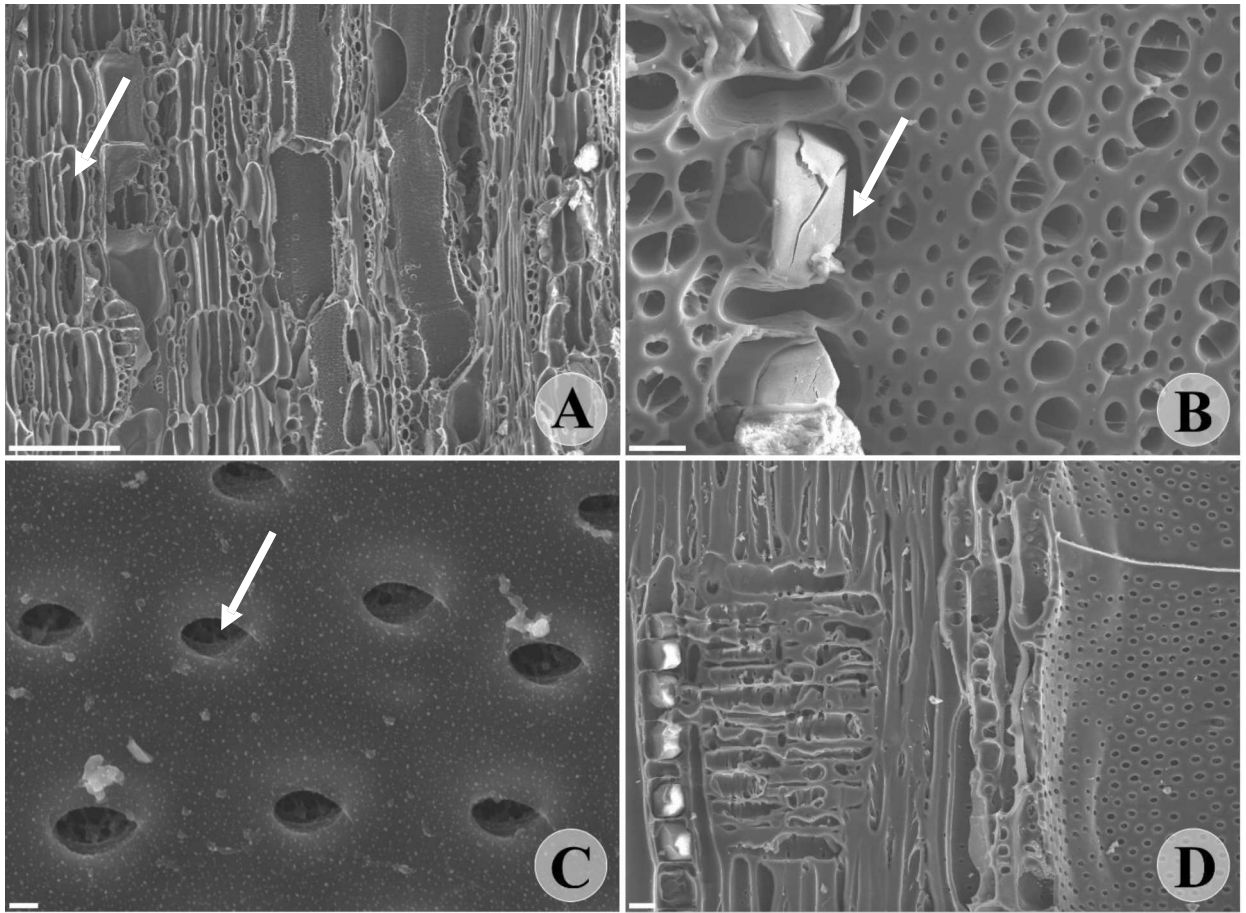


Figura 7. Carvão de *Poincianella pyramidalis* em MEV (superfícies A-B, tangencial e C-D, radial). Cristal com rachadura na superfície, em células do parênquima axial (B, seta); pontoações intervasculares guarnecidas – parede interna do vaso (C, seta), rupturas em células do parênquima axial (A, seta). Escala: C: 1 μ m, D, B: 10 μ m, A:100 μ m.

Anadenanthera colubrina (Figura 7 - 9, Tabela 1, 2)

Macroscopia

Caracteres gerais: **Madeira** sem brilho; cheiro imperceptível; macia; textura fina; **Cerne** amarronzado laranja; distinto do alburno pela cor; **anéis de crescimento** por zonas fibrosas escuras e mal demarcados pelo parênquima marginal. **Vasos** visíveis apenas sob lente de 10x; pequenos; porosidade difusa; frequência alta; proporções semelhantes de solitários e múltiplos; formato circular; parte obstruídos por depósito. **Parênquima axial** observado a olho nu e com auxílio de lente de 10x; paratraqueal vasicêntrico, aliforme losangular e aliforme linear de extensão curta; paratraqueal confluyente em trechos curtos oblíquos (menos frequente); apotraqueal em faixas marginais. **Raios** observado apenas com lente de 10x superfície transversal e tangencial; pouco contrastados; finos; baixos e pouco frequentes.

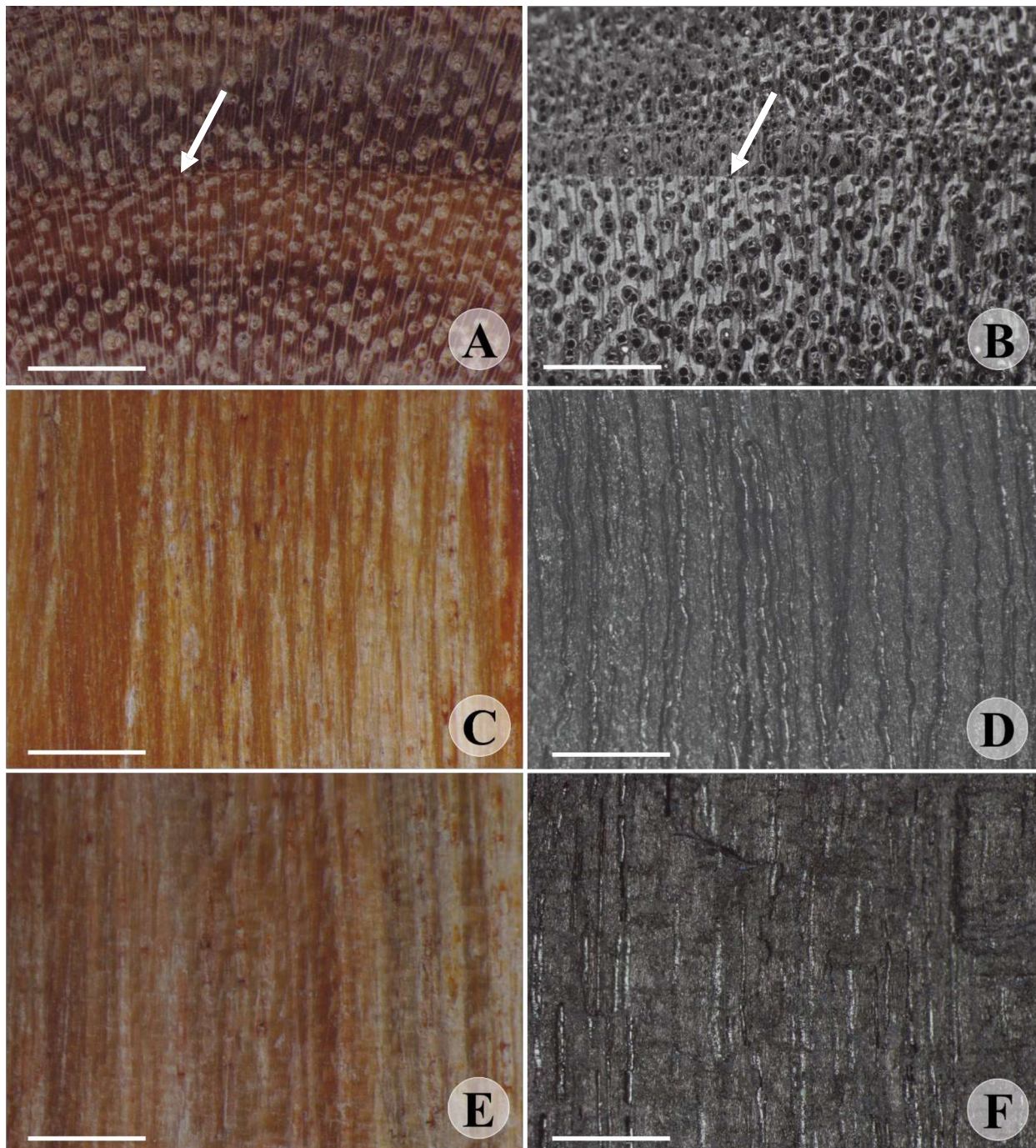


Figura 8. *Anadenanthera colubrina*. Macroscopia da madeira (direita) e do carvão (esquerda) das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Anéis de crescimento mal demarcados por zonas fibrosas e parênquima marginal (A, B, seta). Notar: Raios poucos contrastados na superfície radial. Escala: 100 μ m.

Microscopia

Anéis de crescimento distintas, mal demarcadas por linha do parênquima marginal com 1-2 células de largura. **Vasos** porosidade difusa; solitários e múltiplos com até 4 radiais; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas elípticas; pontoações radio-vasculares semelhantes às intervasculares em tamanho e forma; tilos na madeira e no carvão e depósitos nos vasos do cerne. **Fibras** libriformes com pontoações simples ou com aréolas muito reduzidas com pontoações areoladas; espessura da parede espessas a muito espessas. **Parênquima axial** paratraqueal vasicêntrico, aliforme, unilateral, às vezes, apotraqueal em linha marginal. **Raios** predominantemente multisseriados, 3-4 células de largura; bisseriados; unisseriados raros; estratificados; raio exclusivamente com células procumbentes. **Inclusões minerais** cristais abundantes em células subdivididas do parênquima axial e nas fibras.

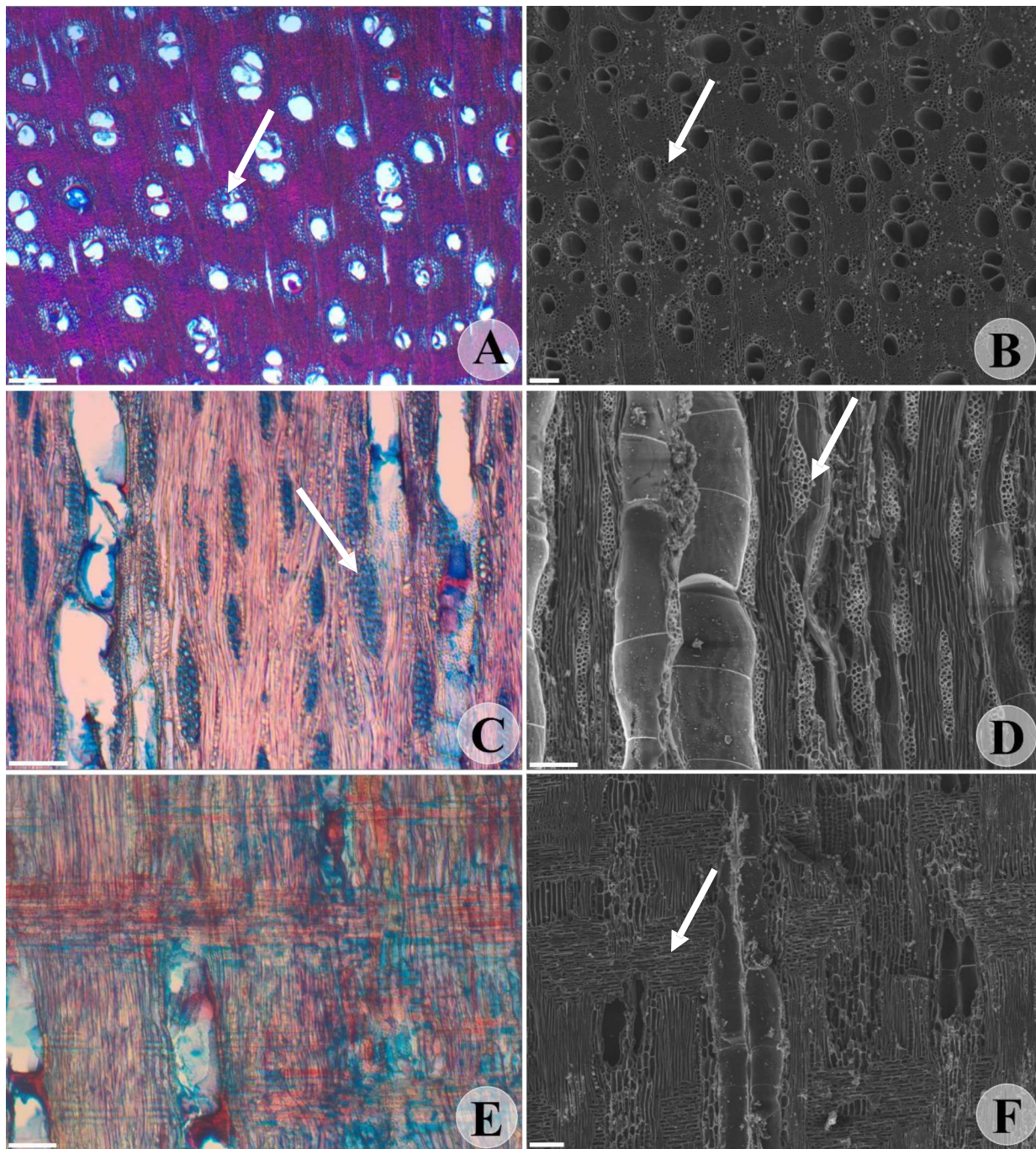


Figura 9. *Anadenanthera colubrina*. Microscopia da madeira (direita) e do carvão (esquerda), das superfícies transversal, tangencial e radial. Parênquima vasicêntrico (A, B, seta), raios multisseriados (C, D, seta), raios exclusivamente procumbentes (E, F, seta). Escala: 100 μ m.

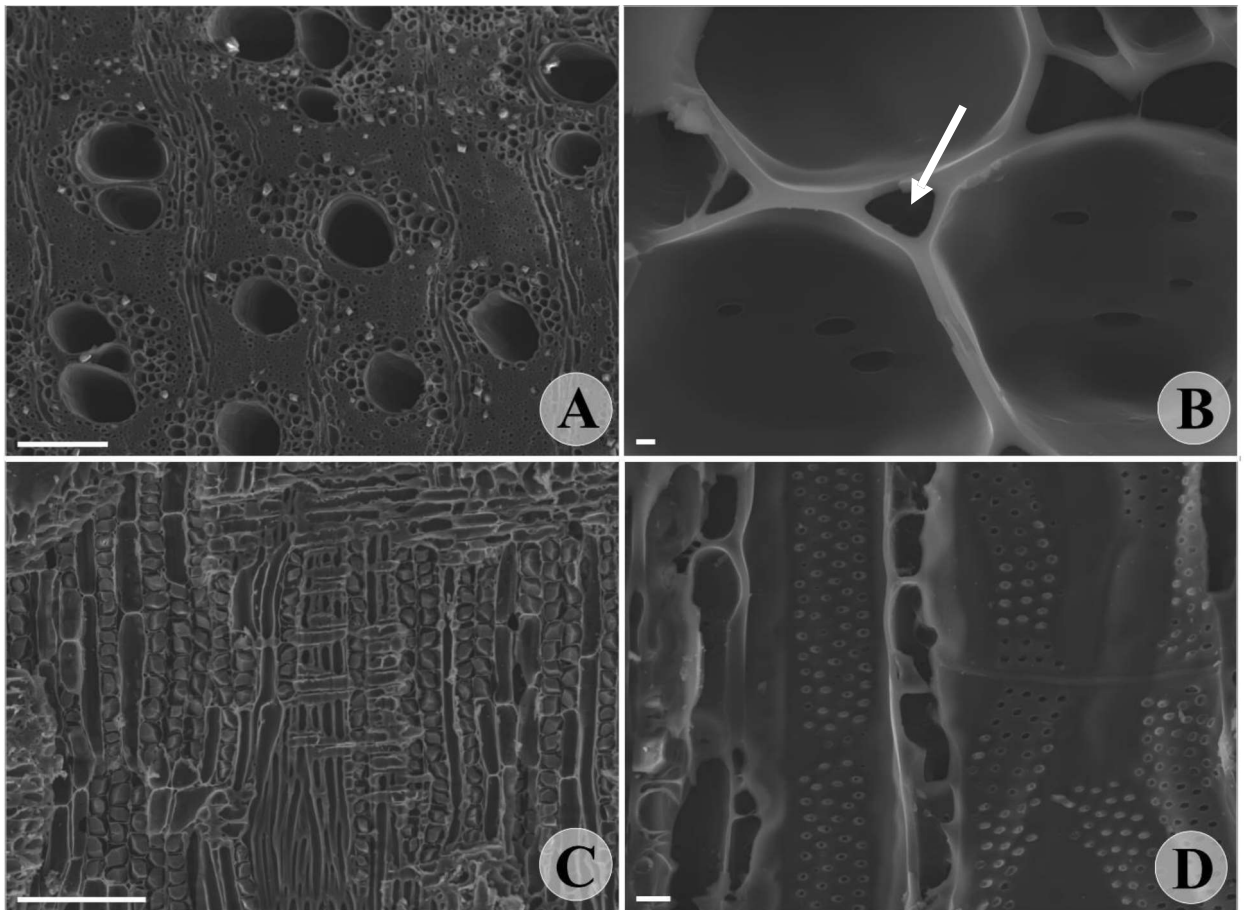


Figura 10. Carvão de *Anadenanthera colubrina* em MEV (A, B transversal, C radial e D tangencial). Espaço intercelular entre células do parênquima axial, indicando ocorrência de rupturas axiais no parênquima axial (B, seta), cristais abundantes em células subdivididas do parênquima axial e nas fibras (C); pontoações intervasculares (D). Escala: B: 1 μ m, D: 10 μ m, A, C: 100 μ m.

RODIDEAS II – SAPINDALES – ANACARDIACEAE

Schinopsis brasiliensis (Fig. 10 – 12, Tabela 1, 2)

Macroscopia

Caracteres Gerais: Madeira sem brilho; cheiro imperceptível; moderadamente dura; textura fina. **Cerne:** amarronzado; distinto do alburno pela cor; **anéis de crescimento** com limites distintos devido as zonas fibrosas tangenciais mais escuras e parênquima marginal. **Vasos/poros:** visíveis a olho nu; pequenos; de porosidade difusa; frequência alta; predominantemente em múltiplos radiais (mais que 2/3); múltiplos radiais com até 6 poros; formato circular a oval; totalmente obstruídos por tilos, tanto na madeira quanto no carvão e gomas/resinas de cor amarelada, na madeira. **Parênquima axial:** observado a olho nu o paratraqueal vasicêntrico e em faixas marginais ou simulando faixas marginais; observado apenas com lente de 10x o parênquima apotraqueal difuso, unilateral. No carvão observa-se apenas o paratraqueal vasicêntrico com lente de 10x (Fig. 4). **Raios:** observados a olho nu na superfície transversal (madeira) e sob lente de 10x na superfície tangencial no carvão; pouco contrastados na madeira e contrastados no carvão (Fig. 4); finos; baixos e pouco a muito frequentes. **Estruturas secretoras:** canais radiais.

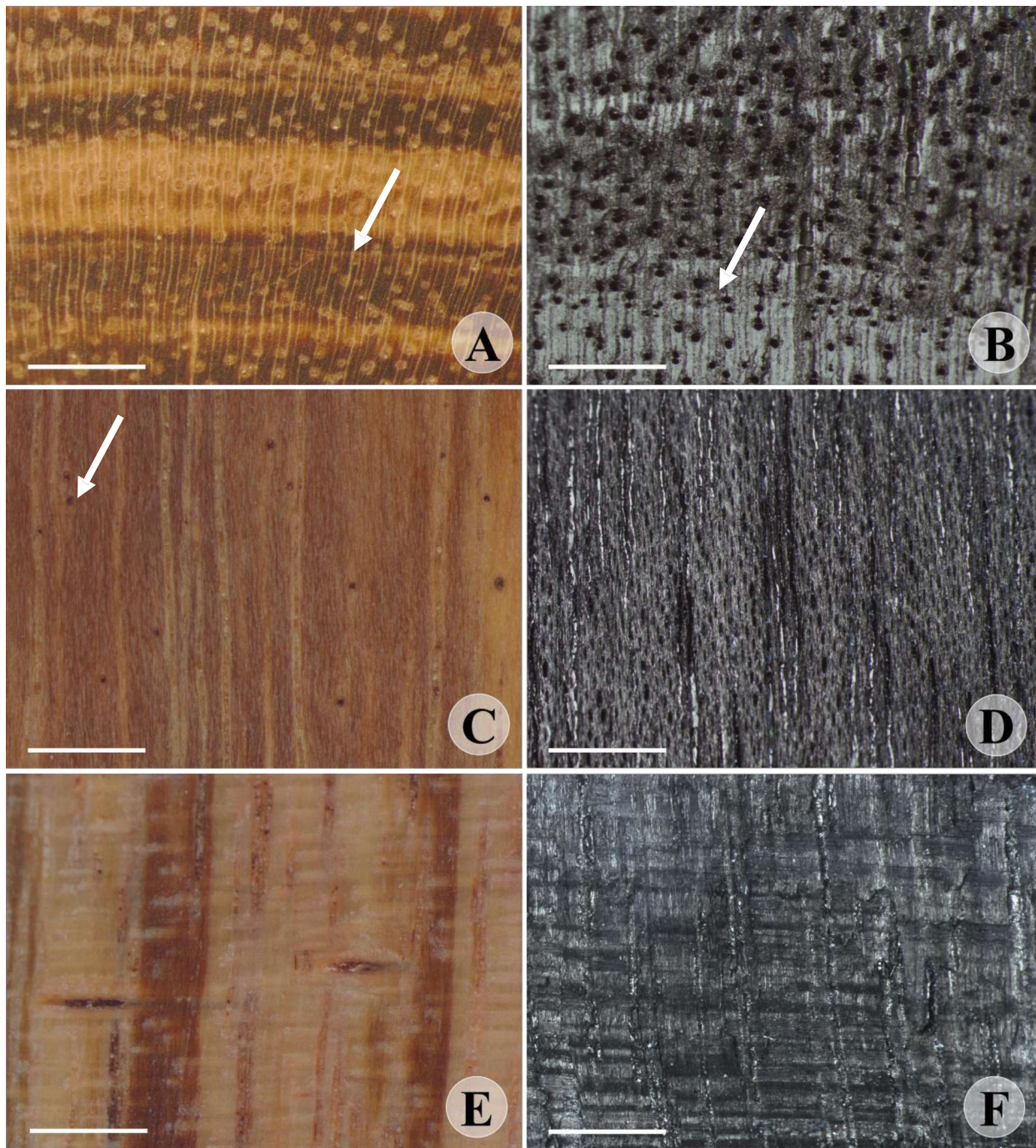


Figura 11. *Schinopsis brasiliensis*. Macroscopia da madeira (esquerda) e do carvão (direita), das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Anéis de crescimento individualizados por zonas fibrosas e parênquima marginal (A, B, seta), canais radiais grandes (A), raios visíveis na superfície tangencial (C, D), raios contrastados na superfície radial (E, F). Escala: 100 μ m.

Microscopia

Anéis de crescimento distinta, demarcadas pelo espessamento e/ou achatamento da parede das fibras do lenho tardio e por faixa marginal de parênquima axial. **Vasos** porosidade difusa; múltiplos com até 5 radiais e até 4 em cachos; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas elípticas; pontoações radio-vasculares semelhantes às intervasculares em tamanho e forma; tilos na madeira e no carvão e depósito nos vasos do cerne da madeira. **Fibras** libriformes com pontoações simples ou com aréolas muito reduzidas; espessura da parede espessa a muito espessa. **Parênquima axial** apotraqueal difuso, paratraqueal vasicêntrico, unilateral, apotraqueal em faixas marginais; comprimento da série de 2 a 4 células. **Raios** predominantemente unisseriado e bisseriado, às vezes a porção unisseriada da mesma largura da bisseriada; multisseriados contendo de 2 a 6 células de largura, quando apresentam canais radiais; composto por corpo de células procumbentes com 1 fileira marginal de células eretas e/ou quadradas, corpo de células procumbentes com 2 a 4 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas e células procumbentes, eretas e quadradas misturadas através do raio, mais raramente composto por células unicamente eretas ou quadradas, rupturas axiais no carvão. **Elementos secretores** canais intercelulares radiais. **Inclusões minerais** cristais em células eretas e/ou quadradas do raio.

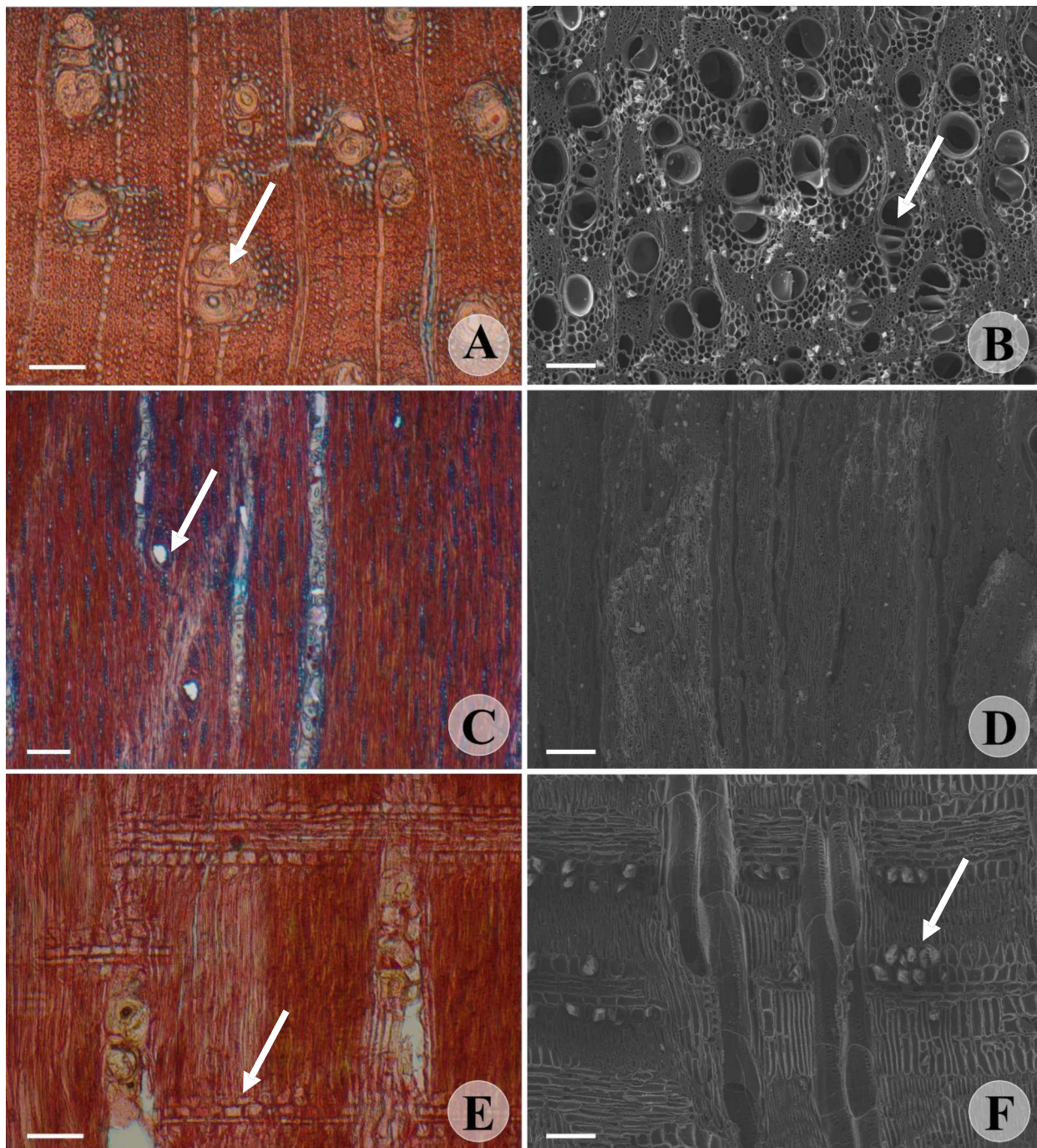


Figura 12. *Schinopsis brasiliensis*. Microscopia da madeira (A, C, E) e do carvão (B, D, F). Depósito nos vasos (A, seta), vasos múltiplos (B, seta), canal radial (C, seta), cristais prismáticos em células marginais eretas ou quadradas (E, F, seta). Escala: A, C, D & E = 100 μ m; B = 200 μ m.

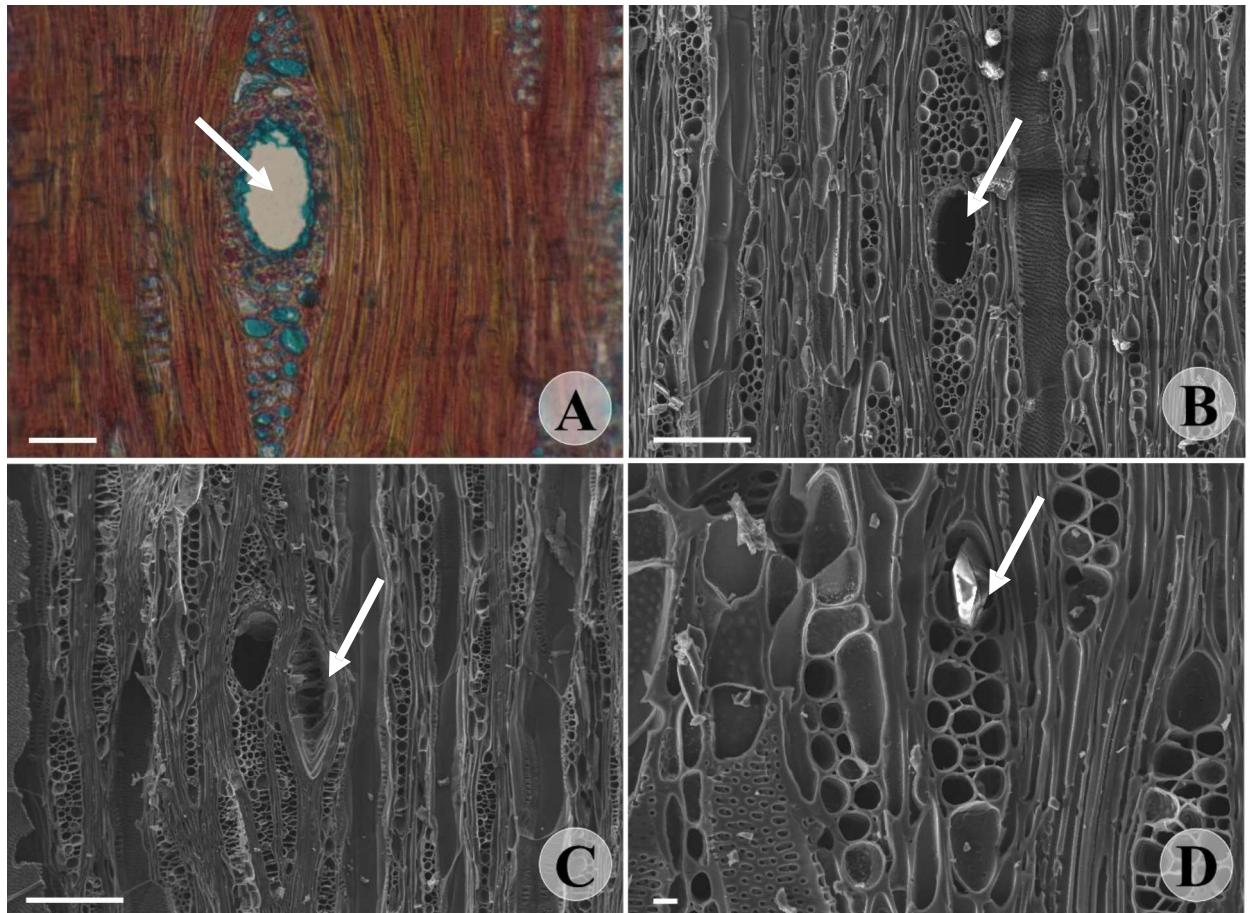


Figura 13. Carvão de *Schinopsis brasiliensis* em MEV (B, C, D superfícies tangenciais). Canais intercelulares radiais (A, B, seta), ruptura axial em raio multisseriado (C, seta), cristal prismático em célula do raio (D, seta). Escalas: A = 50 μ m; B, C = 100 μ m; D = 10 μ m.

***Croton sonderianus* (Figura 13 - 15, Tabela 1, 2)**

Macroscopia

Caracteres gerais: **Madeira** sem brilho; cheiro perceptível e agradável; dura ao corte; textura fina; figura causadas por manchas ou faixas de cores distintas. **Cerne** amarronzado distinto do alburno pela cor; **anéis de crescimento** com limites distintos pela porosidade dos vasos em anéis semi-porosos, às vezes com disposição tangencial (Fig. 13) e por zonas fibrosas mais escuras. **Vasos** visíveis apenas com lente de 10x; pequenos a médios; porosidade em anel semi-poroso; frequência alta; proporções semelhantes de vasos solitários e em múltiplos radiais; seção transversal de formato circular a oval; desobstruídos. **Parênquima axial** observado apenas com auxílio de lente de 10x apenas na madeira; paratraqueal escasso e apotraqueal difuso e difuso em agregados. Não perceptível no carvão. **Raios** observados na superfície transversal apenas com lente de 10x e não observado mesmo sob lente de 10x na superfície tangencial; não contrastados na superfície radial; finos; baixos e muito frequentes.

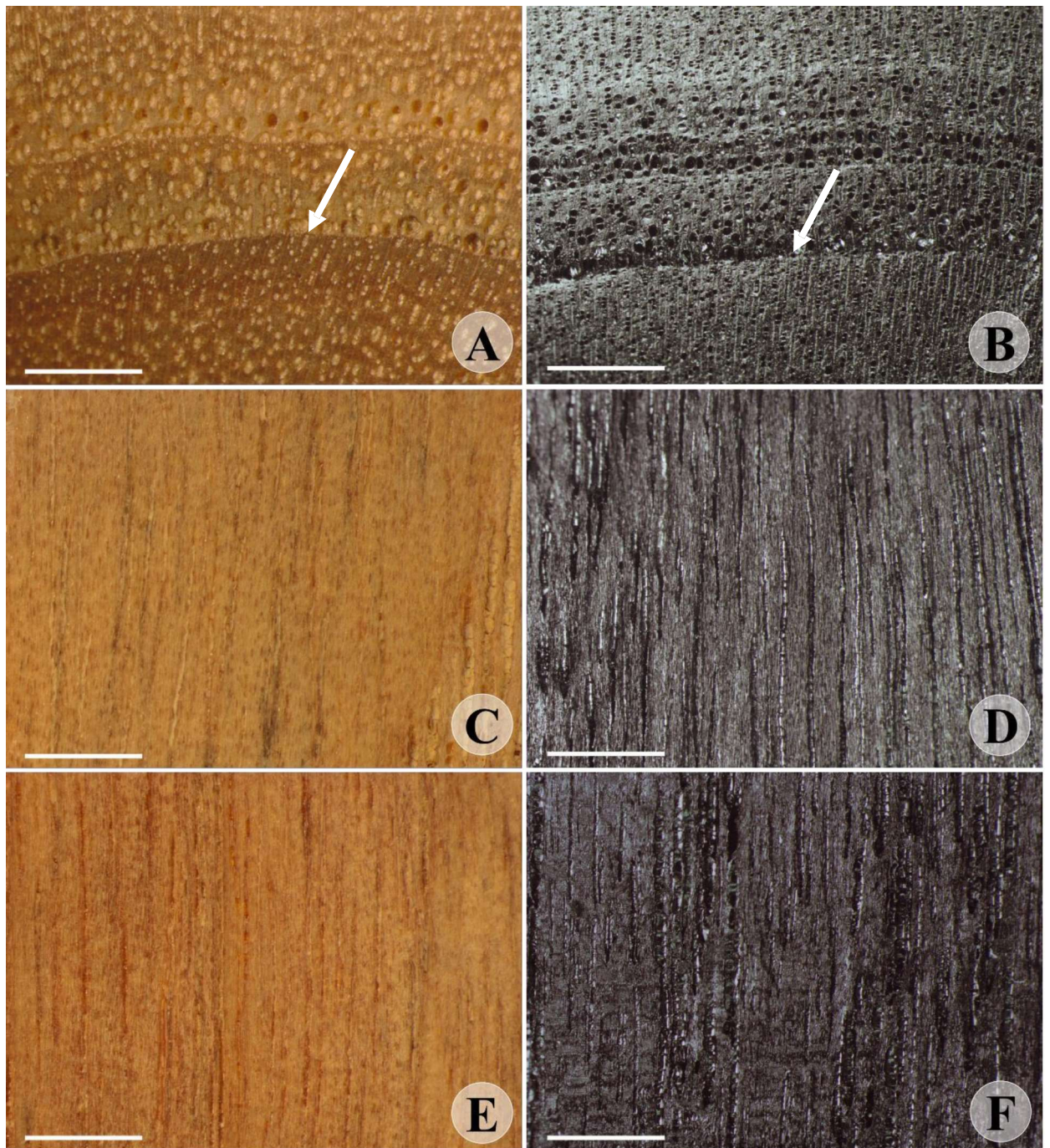


Figura 14. *Croton sonderianus*. Macroscopia da madeira (esquerda) e do carvão (direita) das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Anéis de crescimento individualizados por anel semi-poroso (A, B, seta). Escala: 100 μ m.

Microscopia

Anéis de crescimento distintas, demarcadas por anéis semi-porosos e espessamento e achatamento radial das fibras do lenho tardio. **Vasos** porosidade em anel semi-poroso e pelo espessamento e/ou achatamento da parede das fibras do lenho tardio; solitários, e múltiplos, com até 5 radiais; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas alternas circulares; pontoações radio-vasculares semelhantes às intervasculares em tamanho e forma; desobstruídos na madeira e carvão. **Fibras** libriformes com pontoações simples ou com aréolas muito reduzidas; espessura da parede espessa a muito espessa. **Parênquima axial** paratraqueal escasso, difuso e difuso em agregados formando linhas (mais raros). **Raios** predominantemente unisseriados; composto por células procumbentes com 2-4 células no centro e 1-2 células quadradas e eretas nas margens. **Inclusões minerais** cristais em células subdivididas do parênquima axial.

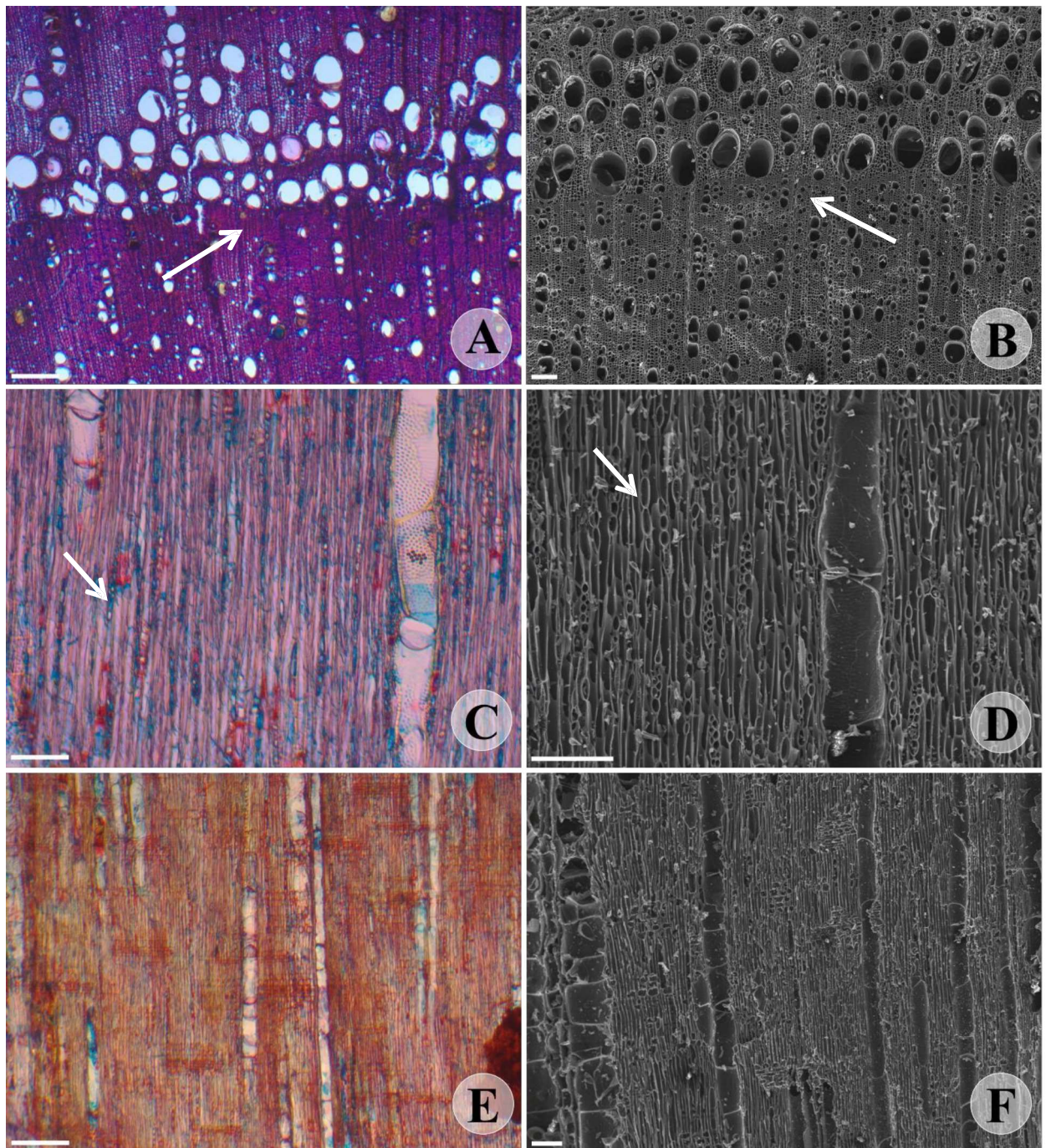


Figura 15. *Croton sonderianus*. Microscopia da madeira (A, C, E) e do carvão (B, D, F) das superfícies transversal, tangencial e radial. Anel de crescimento em anel semi-poroso e zonas fibras achatadas e/ou espessadas no lenho tardio (A, B, seta); vasos desobstruídos (C, E, D, F); raio unisseriado (C, D, seta branca). Escala: 100 μ m.

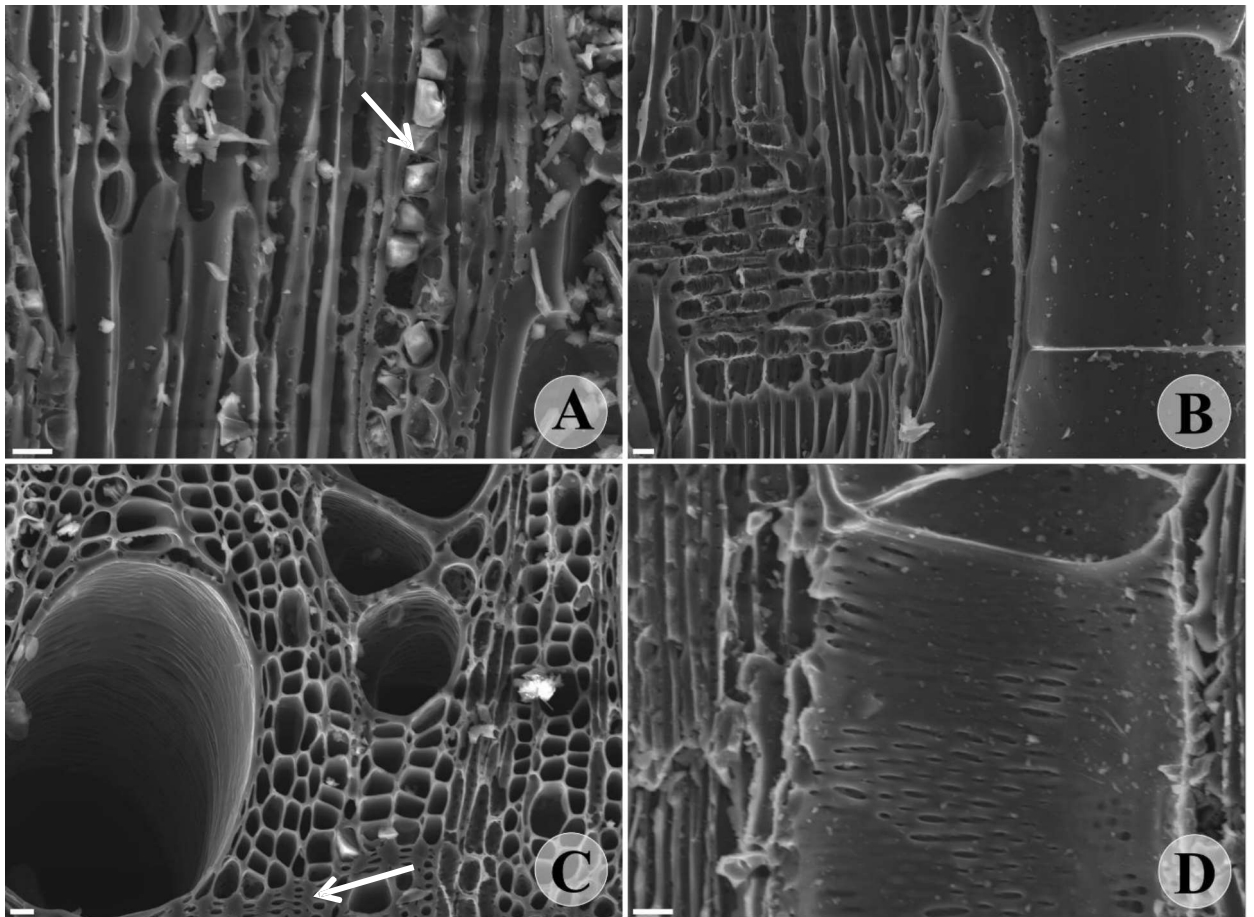


Figura 16. Carvão de *Croton sonderianus* em MEV (A, D tangencial, B radial e C transversal). Cristais em células subdivididas do parênquima axial (A, seta), fibras com parede espessada e achatada radialmente, no lenho tardio (C, seta). Escala:10 μ m.

Tabela 1. Características microscópicas observadas na madeira e carvão das espécies estudadas. Baseada na tabela proposta por Gonçalves *et al.* (2012), contendo modificações. CC: camada de crescimento; PP: placa de perfuração; PI: pontuação intervacular; PRV: pontuação radio-vascular; Esp: espessura; Sept: septada; G: gelatinosa. N: não observado na amostra. Símbolos: (+) = presente; (-) = ausente; (=) = igual.

Característica	CC	Vasos			Parênquima axial	Raios	Fibras			Elementos secretores	Inclusões minerais
		Tilos	PP	PI			PRV	Esp	Sept		
<i>Mimosa tenuiflora</i>	+	+	s	Alternada/guarnecida	=	(1) 2 – 4	Muito espessa	-	+	-	+
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	+	+	s	Alternada	=	(3) 1 – 2	Espessa a muito espessa	+	-	+	+
<i>Poincianella pyramidalis</i>	+	+	s	Alternada/guarnecida	=	(3, 4) 1 – 2	Espessa	-	N	-	+
<i>Anadenanthera</i>	+	+	s	Alternada	=	(1) 3 – 4	Espessa	-	-	-	+

Tabela 2. Valores dos parâmetros quantitativos macroscópicos mensurados. Médias seguidas por letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. A média é seguida pelos valores de mínimo (mín) e máximo (máx). Desv: desvio padrão; R: Retração; A (Aumento).

Espécie	Vasos						Raios											
	Madeira		Carvão		Madeira		Carvão		Madeira		Carvão							
	Média (mín-máx)	Média (mín-máx)	R (%)	Média (mín-máx)	Média (mín-máx)	R/A (%)	Média (mín-máx)	Média (mín-máx)	R/A (%)	Média (mín-máx)	Média (mín-máx)	R/A (%)						
Caracteres macroscópicos	Diâmetro tangencial (µm)						Largura (µm)						Altura (mm)					
	Média (mín-máx)		R (%)	Média (mín-máx)		R/A (%)	Média (mín-máx)		R/A (%)	Média (mín-máx)		R/A (%)	Média (mín-máx)		R/A (%)	Média (mín-máx)		R/A (%)
<i>Mimosa tenuiflora</i>	88,85a (22,88-158,1)	72,18b (35,5-126,94)	- 18,8	19,33a (9,00-35,00)	20,80a (5,54-14,00)	+ 7,6	20,79a (8,50-30,60)	15,17b (8,16-25,88)	- 27,0	0,08a (0,03-0,14)	0,06b (0,02-0,13)	0,06b (0,03-0,10)	0,06b (0,03-0,14)	0,06b (0,03-0,14)	- 29,6	19,30a (16,00-25,00)	19,83a (13,00-26,00)	+ 2,8
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	50,57a (27,56-78,69)	37,95b (19,47-57,27)	-	26,47a (13,00-37,00)	36,47b (24,00-58,00)	+ 37,8	40,58a (15,69-81,20)	30,42b (13,08-44,46)	- 25,0	0,06a (0,03-0,10)	0,08b (0,03-0,14)	0,06a (0,03-0,10)	0,08b (0,03-0,14)	0,08b (0,03-0,14)	+ 22,7	20,57a (15,00-27,00)	20,27a (15,00-26,00)	- 1,45
<i>Poincianella pyramidalis</i>	47,80a (22,88-75,83)	42,68a (24,81-65,59)	-	40,43a (26,00-60,00)	48,13b (36,00-70,00)	+ 19,0	17,96a (7,85-31,38)	12,00b (6,28-18,83)	- 33,2	0,09a (0,05-0,17)	0,08b (0,03-0,18)	0,09a (0,05-0,17)	0,08b (0,03-0,18)	0,08b (0,03-0,18)	- 15,0	19,43a (16,00-23,00)	18,60a (14,00-23,00)	- 4,30
<i>Anadenanthera colubrina</i>	52,10a (18,14-76,46)	46,34a (21,09-81,92)	- 11,0	44,4a (30,00-61,00)	38,30b (16,00-55,00)	- 13,60	9,58a (4,86-15,79)	11,06a (4,86-18,31)	+ 15,4	0,10a (0,03-0,25)	0,11a (0,01-0,34)	0,10a (0,03-0,25)	0,11a (0,01-0,34)	0,11a (0,01-0,34)	+ 12,5	9,1a (5,00-16,00)	7,97a (5,00-11,00)	- 12,45

<i>Croton sonderianus</i>	58,54a	50,93a	-	52,07a	62,07b	+19,21	11,15a	13,36b	+19,78	0,04a	0,05a	+23,72	15,07a	18,00b	+19,47
	(27,49- 124,25)	(30,12- 80,68)	13,00	(35,00- 71,00)	(44,00- 82,00)		(5,44- 19,60)	(6,31- 20,92)		(0,02- 0,06)	(0,00- 0,12)		(9,00- 20,00)	(12,00- 27,00)	

DISCUSSÃO

Análise macroscópica

Do ponto de vista macromorfológico, as amostras de carvão de todas as espécies analisadas apresentaram rachaduras nos sentidos dos raios, camada de crescimento e entre o albarno e a casca, além de fissuras mais reduzidas (tamanho e largura), abundantes no cerne de *Mimosa tenuiflora* e *Schinopsis brasiliensis*. Nestas duas espécies, as referidas microfissuras criaram uma superfície com bastante rugosidade, dificultando, às vezes, a análise anatômica. França (2015) relata a ocorrência de rachaduras grandes no sentido dos raios em *Mimosa tenuiflora* e *Poncianella bracteosa* e rachaduras radiais menores em *Combretum leprosum*. (Muniz *et al.* 2012) discute que a ocorrência de rachaduras pode ser decorrente do aquecimento interno de forma mais rápida que o externo durante a carbonização.

Apesar da perda dos caracteres organolépticos, importantes parâmetros na identificação da madeira, as características qualitativas macroscópicas sofreram poucas alterações significativas no carvão. Desta forma, a identificação do carvão baseada na análise macroscópica foi passível de aplicação nas espécies estudadas. Pode-se citar as seguintes características macroscópicas do carvão como sendo discriminantes das espécies estudadas: São peculiaridades da anatomia do carvão das espécies analisadas que a distinguem uma das outras: anéis individualizados por parênquima marginal; parênquima paratraqueal vasicêntrico, aliforme linear e losangular e vasos pouco obstruídos (*Mimosa tenuiflora*); parênquima paratraqueal confluyente em trechos curtos e longos, às vezes formando faixas, raios pouco contrastados na radial, estratificação dos raios na tangencial (*Poincianella pyramidalis*); anéis individualizados por zonas fibrosas escuras e parênquima marginal mal demarcado, parte dos vasos obstruídos, parênquima paratraqueal vasicêntrico (*Anadenanthera colubrina*); anéis individualizados por zonas fibrosas escuras e parênquima marginal, vasos obstruídos, parênquima paratraqueal vasicêntrico, canais radiais grandes (*Schinopsis brasiliensis*); anéis individualizados por anéis semi-porosos e zonas fibrosas escuras, vasos com porosidade em anéis semi-porosos, raios pouco contrastados na radial (*Croton sonderianus*). O contraste dos raios na radial, visibilidade dos raios na superfície tangencial, agrupamento dos vasos e parênquima marginal ficaram mais evidentes nas amostras de carvão, enquanto o parênquima axial paratraqueal escasso e unilateral, apotraqueal difuso e difuso em agregado apresentaram limitações na visibilidade.

O carvão de *Mimosa tenuiflora* apresentou as linhas marginais bem aparentes e o

espelhamento dos raios mais evidente (Fig. 1). A ausência de alteração qualitativa nas linhas marginais também foi observado por Hammerer (2011), principalmente em *Myracrodouon urundeuva*. No carvão de *Schinopsis brasiliensis*, não é possível a visualização do parênquima apotraqueal difuso e unilateral e o parênquima vasicêntrico é observado apenas com lente de 10x. Os raios finos ficaram mais destacados na tangencial, assim como o espelhamento dos raios. Já em *Poincianella pyramidalis*, o parênquima confluyente também só é possível observar no carvão, com a lente de 10x. O parênquima axial necessitou de auxílio de 10x para sua observação, em todas as espécies, sendo este, o parâmetro de mais difícil visualização na macroscopia. Tornou-se menos evidente e às vezes, até indistinto sob aumento, como o parênquima apotraqueal difuso e unilateral de *Schinopsis brasiliensis* e o escasso em *Croton sonderianus*. Apesar da dificuldade de observação macroscópica de alguns tipos de parênquima, esta característica continua sendo importante e confiável para a identificação das espécies e para sua separação taxonômica, conforme observado por Hammerer (2011).

Em *Croton sonderianus*, a porosidade em anéis semi-porosos manteve-se intacta no carvão, apresentando-se bem aparente (Figura 9b), assim como observado por França (2015) em *Croton argyrophylloides*. Em *Mimosa tenuiflora* e *Schinopsis brasiliensis*, os vasos continuaram sendo passíveis de observação a olho nu. Hammerer (2011) cita que via de regra, os vasos só são observados no carvão com o auxílio de uma lente de 10x. As linhas vasculares nas superfícies tangenciais e radiais permanecem evidentes no carvão. O agrupamento dos vasos, em todas as espécies, mostrou-se mais evidente no carvão. Essa característica também foi constatada por Muniz *et al.* (2012), que relata que a desobstrução dos vasos após a carbonização permite a melhora na visibilidade do agrupamento.

Todos os parâmetros macroscópicos quantitativos apresentaram ou retrações ou dilatações no carvão, em comparação com as medições na madeira. Todas as espécies sofreram retração no diâmetro tangencial dos vasos. Estatisticamente, a retração em *Poincianella pyramidalis*, *Anadenanthera colubrina* e *Croton sonderianus* não se mostraram significativas (Tabela 2). A retração do diâmetro tangencial dos vasos em *Schinopsis brasiliensis* foi a que apresentou maior valor (25%). De acordo com Prior & Alvin (1983) e Prior & Gasson (1993), a retração do diâmetro tangencial depende do comportamento das fibras e células de parênquima que envolvem os vasos. Quanto menos parênquima e mais espessa a parede das fibras que circundam os vasos, menor é a alteração em suas dimensões. Esse padrão não foi observado em *Schinopsis brasiliensis* e *Poincianella pyramidalis*. *Schinopsis* possui as paredes das fibras

espessas e pouco parênquima e apresentou a maior retração. Já *Poincianella* apresenta bastante parênquima e as paredes das fibras menos espessas e foi a espécie que menos retraiu. Esse comportamento diferenciado destas espécies pode estar relacionado às características do processo de carbonização como por exemplo, posição das amostras dentro do forno e até mesmo devido a variabilidade entre os indivíduos, e conseqüentemente entre as amostras. As frequências dos vasos aumentaram significativamente em todas as espécies, exceto em *Mimosa tenuiflora* (Tabela 2). O aumento da frequência é esperado quando ocorrem retrações no diâmetro dos vasos.

A altura dos raios teve retração de 33% em *Poincianella pyramidalis* a dilatação de 22,6% em *Schinopsis brasiliensis*. Com relação a frequência de raios, a única espécie que apresentou alteração significativa foi *Croton sonderianus*, com um aumento de 19,47%. Gonçalves (2010) não encontrou variação na altura dos raios em suas espécies analisadas, mas cita que esta alteração pode ser resultado da formação de pequenos espaços intercelulares entre as células procumbentes do raio. A retração da largura dos raios também se mostrou significativos nas espécies onde os raios são predominantemente multisseriados. Kim & Hanna (2006) relatam que raios multisseriados de *Quercus variabilis* sofreram desintegração das paredes celulares com a presença de fendas de retração (que aumentaram de acordo com a temperatura), diferentemente dos raios unisseriados, que mantiveram pouca separação entre as células. No entanto, Prior & Gasson (1993) observaram que raios multisseriados contraíram menos do que os raios unisseriados, quando analisaram seis espécies africanas. Muniz *et al.* (2012) cita a importância da influência da espessura da parede das fibras na alteração da largura dos raios e Gonçalves (2010) também relata que a contração de raios multisseriados não acontece sempre, variando de acordo com a espécie em análise. Nas espécies analisadas, os parâmetros quantitativos relacionados aos raios não apresentaram um determinado modelo do comportamento.

Análise microscópica

As análises sob MEV permitiram observações mais detalhadas de algumas características, tais como as pontoações guarnecidas, que foram observadas com maior distinção e os cristais prismáticos que tiveram a visibilidade melhorada. Assim como relatado nos diversos estudos dos efeitos da carbonização na madeira, também se constatou a uniformização ou homogeneização da parede celular dos elementos que compõe o tecido xilemático, bem como

nas membranas das pontoações areoladas, tornando-as indistintas. Somente as pontoações guarnecidas de *Mimosa tenuiflora* não sofreram descaracterização, sendo possível sua distinção microscópica.

Todas as espécies apresentaram cristais prismáticos no parênquima axial, sendo fortemente abundante no parênquima axial e fibras em *Schinopsis brasiliensis* e, principalmente, em *Anadenanthera colubrina*. O formato dos cristais prismáticos encontrados no carvão das cinco espécies analisadas não sofreu alterações, no entanto, as superfícies desses cristais frequentemente apresentaram rachaduras.

Espaços intercelulares em células do parênquima axial e rupturas axiais em raios multiserriados não frequentes foram observados no carvão de *Mimosa tenuiflora* (Fig. 3) e rupturas axiais radiais em *Schinopsis brasiliensis* (Fig. 14). Leme *et al.* (2010) supõem que a ocorrência de rupturas no parênquima marginal pode ser causada pela presença abundante de cristal. Eles observaram também que tais rupturas são raras em outros tipos de parênquima como o vasicêntrico. Neste trabalho, as rupturas no parênquima axial foram encontradas em *Anadenanthera colubrina* e *Poincianella pyramidalis*.

Tanto macro quanto microscopicamente, as características observadas nas espécies estudadas são congruentes com descrições gerais de Metcalfe & Chalk (1950). As características anatômicas da madeira de *Croton sonderianus* estão em conformidade com Silva (2006) e *Poincianella pyramidalis* com Silva *et al.* (2009); *Anadenanthera colubrina* com o trabalho de Guimarães (2009) e *Schinopsis brasiliensis* com Cardoso (2014). Já as características de *Mimosa tenuiflora* são similares ao descrito por Oliveira *et al.* (2006) e Silva (2006). Algumas características, no entanto, não foram observadas no presente trabalho, como a ocorrência de fibras gelatinosas em *Poincianella pyramidalis* e *Croton sonderianus*. A estrutura anatômica do carvão das espécies estudadas apresentou características típicas da madeira quando submetida ao processo de carbonização. Além da perda dos caracteres gerais organolépticos como gosto ou cor, as modificações qualitativas observadas são condizentes com trabalhos semelhantes de França (2015), Gonçalves (2010), Gonçalves *et al.* (2014), Hamerer (2011), Muniz *et al.* (2012) e Muniz *et al.* (2013), Nisgoski *et al.* (2012) e Nisgoski *et al.* (2014). As modificações observadas no carvão de *Mimosa tenuiflora* são condizentes com as relatadas por Leme *et al.* (2010).

Conclusões

Apesar de algumas modificações, as características qualitativas permanecem no carvão de todas as espécies, exceto as organolépticas, permitindo o processo de identificação botânica do gênero/espécie que o originou. Desta forma, foi possível identificar o carvão baseada em suas características macroscópicas.

São peculiaridades da anatomia do carvão das espécies analisadas que a distinguem uma das outras e que podem ser aplicados para fins de fiscalização ambiental: anéis individualizados por parênquima marginal; parênquima paratraqueal vasicêntrico, aliforme linear e losangular e vasos pouco obstruídos (*Mimosa tenuiflora*); parênquima paratraqueal confluyente em trechos curtos e longos, às vezes formando faixas, raios pouco contrastados na radial, estratificação dos raios na tangencial (*Poincianella pyramidalis*); anéis individualizados por zonas fibrosas escuras e parênquima marginal mal demarcado, parte dos vasos obstruídos, parênquima paratraqueal vasicêntrico (*Anadenanthera colubrina*); anéis individualizados por zonas fibrosas escuras e parênquima marginal, vasos obstruídos, parênquima paratraqueal vasicêntrico, canais radiais grandes (*Schinopsis brasiliensis*); anéis individualizados por anéis semi-porosos e zonas fibrosas escuras, vasos com porosidade em anéis semi-porosos, raios pouco contrastados na radial (*Croton sonderianus*).

Os seguintes caracteres ficaram mais evidentes no carvão: contraste dos raios na radial, visibilidade dos raios na superfície tangencial, agrupamento dos vasos, parênquima marginal. Já tais caracteres apresentaram limitações na visibilidade: parênquima axial paratraqueal escasso e unilateral, apotraqueal difuso e difuso em agregados.

Análises sob MEV são importantes para a observações detalhadas das características microscópicas, sendo requisitadas em identificações forenses onde a abordagem macroscópica não se mostre capaz de oferecer um direcionamento taxonômico.

Espera-se que este trabalho possa contribuir com uma ferramenta capaz de subsidiar a identificação botânica do carvão e que desta forma, auxilie os órgãos de comando e controle ambiental nas atividades de fiscalização e controle da cadeia ilegal.

Referências bibliográficas

- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 2013. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012. ABRAF, Brasília.
- Botosso PC. 2009. Identificação macroscópica de madeira: guia prático e noções básicas para o seu conhecimento. Documentos 194. Embrapa Florestas, Colombo.
- Brito JO & Barrichelo, LEG. 1981. Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeira da Amazônia. Instituto de Pesquisas Florestais (IPEF). Sér. Téc. 2: 1–25.
- Cardoso DS. 2014. Caracterização anatômica da madeira e potencial dendrocronológico de *Schinopsis brasiliensis* Eng. (Anacardiaceae) na Caatinga Sergipana. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão.
- Coradin VTR, Camargos JAA, Pastore TCM & Christo AG. 2010. Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos - Brazilian commercial timbers: interactive identification key based on general and macroscopi features. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais (LPF), Brasília.
- Coradin VTR & Muniz GIB. 1992. Normas e procedimentos em estudo da anatomia da madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília.
- Coradin VTR & Camargos JAA. 2002. A estrutura anatômica da madeira e princípios para sua identificação. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Diretoria de Florestas. Laboratório de Produtos Florestais, Brasília.
- Di Pasquale, G, Marziano M, Impagliazzo S, Lubritto C, Natale A & Bader MY. 2008. The Holocene treeline in the northern Andes (Equador): first evidence from soil charcoal. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 259: 17 - 34.
- Duboc E. 2007. Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado. Embrapa Cerrados, Brasília.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2000. Avaliação e identificação de ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. Embrapa, Petrolina.
- França RF, Schardosin FZ, Batista FRR, Molleken RE, Muniz GIB & Nisgoski S. 2011.

- Anatomia da madeira e do carvão de *Goupia glabra* Aubl. e *Erisma uncinatum* Warm. 63º Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/>>. Acessado em: 12/11/2014.
- França RF. Estrutura anatômica da madeira e do carvão de espécies da Caatinga. 2015. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba.
- Gonçalves TAP. 2010. Anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas do Cerrado no estado de São Paulo, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.
- Gonçalves TAP, Rangel A & Scheel R. 2008. Caracterização anatômica do lenho carbonizado de espécies comuns do cerrado: subsídio a estudos antracológicos e conservacionistas. In: IX Simpósio Nacional Cerrado e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. Anais. Embrapa Cerrados, Brasília.
- Gonçalves TAP & Scheel R. 2007. Contribuição da antracologia no controle da produção de carvão vegetal no Brasil. In: Jornada Fluminense de Botânica, 26. Resumos, Rio de Janeiro. JFB, Itatiaia.
- Gonçalves TAP, Marcati CR & Scheel-Ybert R. 2012. The effect of carbonization on wood structure of *Dalbergia violacea*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Tapirira guianensis*, *Vochysia tucanorum*, and *Pouteria torta* from the Brazilian Cerrado. IAWA Journal. 33: 73–90.
- Gonçalves TAP, Ballarin AW, Nisgoski S & Muñiz GIB. 2014. A Contribution to the identification of charcoal origin in Brazil – Anatomical characterization of *Corymbia* and *Eucalpytus*. Maderas. Ciencia y Tecnologia. 16: 323–336.
- Guimarães RC. 2009. Anatomia do Lenho de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan em Diferentes Fitofisionomias da Floresta Atlântica no Estado do Rio de Janeiro: Ilha Grande e Itatiaia. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro/Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro.
- Hammerer SC. 2011. Anatomia da madeira e do carvão do Cerrado: uma abordagem básica, ecológica e aplicada. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Mato Grosso Sul (UFMS), Campo Grande.
- IAWA Committee. Wheeler E, Baas P & Gasson P (Eds.). 1989. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin. 10: 219–332.

- Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). 2010. Relatório Técnico do Monitoramento do Bioma Caatinga – 2002 a 2008. Centro de Sensoriamento Remoto (CSR), Brasília. Disponível em <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/caatinga/caatinga.htm>>. Acessado em: 10/11/2014.
- Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). 1991. Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: I Angiospermae. II Gimnospermae. Série técnica n. 15. Laboratório de Produtos Florestais (LPF), Brasília.
- Kim NH & Hanna RB. 2006. Morphological characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. Wood Science and Technology. 40: 392–401.
- Leme CLD, Cartwright C & Gasson P. 2010. Anatomical changes to the wood of *Mimosa ophthalmocentra* and *Mimosa tenuiflora* when charred at different temperatures. IAWA Journal. 31: 333–351.
- Lima RCCL, Cavalcante AMB & Perez-Martin AM. 2011. Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro (Ed). Instituto Nacional do Semiárido, Campo Grande.
- Marguire D & Hunot JY. 2007. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. Journal of Archaeological Science, New York. 34: 1417-1433.
- Metcalfé CR & Chalk L. 1950. Anatomy of dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses. Oxford, Clarendon Press.
- Ministério de Minas e Energia (MME). 2014. (Brasil). 2014. Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2010. Subsídios para a Elaboração do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga. MMA, Brasília.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2011. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado. MMA, Brasília.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2014. Brasil pode exportar aplicativo que identifica madeiras comerciais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/10004-brasil-pode-exportar-aplicativo-que-identifica-madeiras-comerciais>>. Acessado em: 16/03/2015.
- Muniz GIB, Nisgoski S, Zatt Shardosin F & França RF. 2012. Anatomia do carvão de espécies florestais. Revista Cerne. 3: 471 – 477

- Muniz GIB, França RF, Fiorese AE & Nisgoski S. 2013. Análisis de la estructura anatómica de la madera y del carbón de dos espécies de Sapotaceae. *Maderas. Revista Ciencia y Tecnologia*. 03: 311 – 320.
- Nisgoski S, Muniz GIB, Batista FRR & Francielli RR. 2012. Anatomia do lenho cabonizado de *Copaifera cf. langsdorfii* Desf. e *Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild. *Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci)*. 03: 66-79.
- Nisgoski S, Magalhães WLE, Batista FRR, França R & Muniz GIB. 2014. Anatomical and energy characteristics of charcoal made from five species. *Revista Acta Amazonica*. 44: 367–372.
- Oliveira E, Vital BR, Pimenta AS, Lucia RMD, Ladeira AM & Carneiro ACO. 2006. Estrutura anômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. *Revista Árvore*. 30: 311-318.
- Prior J & Alvin KL. 1983. Structural changes on charring woods of *Dichrostachys* and *Salix* from southern Africa. *IAWA Bulletin*. 04: 197–206.
- Prior J & Gasson P. 1993. Anatomical changes on six African hardwoods. *IAWA Journal*. 14: 77–86.
- Ramos MA. 2007. Plantas usadas como combustível em uma área de Caatinga (Nordeste do Brasil): Seleção de espécies, padrões de coleta e qualidade do recurso. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRP), Recife.
- Sá IB, Cunha TJF, Teixeira AH.de.C, Angelotti F & Drumond MA. 2010. Processos de desertificação no Semiárido Brasileiro. In: Sá IB. & Silva PCG. *Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Embrapa Semiárido, Petrolina.
- Scheel R, Gaspar MD & Ybert JP. 1996a. A anatomia dos carvões pré-históricos. *Arqueologia encontra respostas em restos de fogueiras e incêndios florestais. Ciência Hoje*. 21: 66–69.
- Scheel R, Gaspar MD & Ybert JP. 1996b. Antracologia, uma nova fonte de informações para a arqueologia brasileira. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*. 6: 3–9.
- Scheel R. 2004. Teoria e métodos em antracologia. 1: Considerações teóricas e perspectivas. *Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro*.
- Scheel R. 2001a. Man and Vegetation in Southeastern Brazil during the Late Holocene. *Journal of Archaeological Science*. 28: 471–480.

- Silva LB. 2006. Variação na estrutura da madeira de quatro espécies da Caatinga nordestina e seu potencial para o desenvolvimento sustentável. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana.
- Silva RCVM, Silva ASSLima, Fernandes MM & Margalho LF. 2014. Noções morfológicas e taxonômicas para identificação botânica. Embrapa, Brasília.
- Silva LB, Santos FAR, Gasson P & Cutler D. 2009. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. Acta Bot. Bras. 23: 436-445.
- Souza LA. 2003. Morfologia e Anatomia Vegetal: célula, tecidos, órgãos e plântula. Editora UEPG, Ponta Grossa.
- Uhlig A, Goldemberg J & Coelho ST. 2008. O uso do carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. Revista Brasileira de Energia. 14: 67-85.
- Vital BR, Carneiro AC, Cruz FM, Ribeiro KVG, Loures NG & Nacif P. 2014. Manual de Identificação de carvão vegetal. Editora UFV, Viçosa.
- Zenid GJ & Ceccantini CT. 2007. Identificação macroscópica de madeiras. Laboratório de Madeira e Produtos Derivados Centro de Tecnologia de Recursos Florestais - IPT, São Paulo.
- Zuchi PS. 2000. Avaliação Ergonômica do trabalho na atividade de carvoejamento. In: 1º. Simpósio Brasileiro sobre ergonomia e segurança do trabalho florestal e agrícola. Belo Horizonte.
- Wheeler E & Baas P. 1998. Wood identification – A Review. IAWA Journal. 19: 241-264.

CAPÍTULO II

MACROSCOPIA DA MADEIRA E CARVÃO DA ALGAROBA (*PROSOPIS JULIFLORA*) E DE TRÊS ESPÉCIES DO GÊNERO *EUCALYPTUS* L'Hér CULTIVADAS NO BRASIL

Lidiane Cristina Ribeiro Silva, Vera Teresinha Rauber Coradin, Sueli Maria Gomes

MACROSCOPIA DA MADEIRA E CARVÃO DA ALGAROBA (*PROSOPIS JULIFLORA*) E DE TRÊS ESPÉCIES DO GÊNERO *EUCALYPTUS* CULTIVADAS NO BRASIL

Lidiane Cristina Ribeiro Silva¹, Vera Teresinha Rauber Coradin², Sueli Maria Gomes^{3,4}

RESUMO

A área de árvores plantadas para fins industriais totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014, sendo que 5,56 milhões são apenas plantios de eucalipto. No entanto, apesar do aumento das florestas exóticas, uma parte considerável do carvão utilizado pela indústria tem origem nativa. A identificação anatômica macroscópica da madeira é técnica amplamente utilizada pelos órgãos de comando e controle ambiental, mas para o carvão, ainda não há estudos nem ferramentas suficientes. O objetivo deste trabalho foi caracterizar macroscopicamente a madeira e o carvão de 3 espécies do gênero *Eucalyptus*, que são amplamente plantadas no Brasil para fins energéticos, além da espécie exótica *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. Corpos de prova foram obtidos a partir da madeira, sendo seccionados nas dimensões transversal, tangencial e radial. Discos de madeira foram recobertos por papel alumínio e carbonizado em forno mufla durante 7 horas. Para a descrição, os caracteres organolépticos e macroscópicos basearam-se nas "Normas e Procedimentos em Estudos de Anatomia da Madeira". Para o carvão, utilizou-se os mesmos parâmetros, excetos os organolépticos. As variações das dimensões entre a madeira e o carvão foi avaliado estatisticamente pelo teste de Tukey (ANOVA) a 95% de probabilidade. Não é possível distinguir as espécies de *Eucalyptus* deste trabalho a partir da anatomia da madeira, apesar das diferenças qualitativas e quantitativas macroscópicas observadas. Para fins de controle ambiental, a identificação taxonômica apenas em nível de gênero já é suficiente para se caracterizar administrativamente e judicialmente, as infrações e crimes ambientais. O gênero distingue-se das espécies nativas, do ponto de vista da anatomia da madeira e do carvão, devido a características típicas relacionadas aos vasos, que são: porosidade difusa, vasos predominantemente solitários com tilos e principalmente o arranjo diagonal dos vasos. O carvão de *Prosopis juliflora* possui características diagnósticas como vasos visíveis a olho nu, predominantemente solitários e raios bem destacados e visíveis a olho nu na superfície transversal. No entanto, para informações mais detalhadas sobre seu carvão, uma análise sob MEV seria recomendada.

Palavras chave: carbonização, carvão, identificação, eucalipto

¹ Mestranda em Botânica - Universidade de Brasília (Unb), Instituto de Biologia, Departamento de Botânica. Endereço: Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP: 70910-900. Brasília/DF, Brasil.

² Analista Ambiental aposentada do Serviço Florestal Brasileiro.

³ Professora da Universidade de Brasília (Unb), Instituto de Biologia, Departamento de Botânica. Endereço: Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP: 70910-900. Brasília/DF, Brasil.

⁴ E-mail para correspondência: suelimariagomes@gmail.com

ABSTRACT

The area of trees planted for industrial purposes totaled 7.74 million hectares in 2014, of which 5.56 million are only *Eucalyptus* plantations. However, despite the increase in exotic forests, a considerable part of the coal used by industry has native origin. Macroscopic anatomical identification of the wood is widely used technique for control devices and environmental control, but for the charcoal, there are no studies or sufficient tools. The objective of this study was to characterize macroscopically wood and charcoal of 3 species *Eucalyptus*, which are widely planted in Brazil for energy purposes, as well as exotic species *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. The sample wood discs were obtained being sectioned in the transverse tangential and radial dimensions for macro analysis of wood. For the charcoal, wood discs were covered with aluminum foil and carbonized in a muffle furnace for 7 hours. For the description, organoleptic and macroscopic characters were based on the "Rules and Procedures on the wood anatomy studies." For charcoal, the same parameters are used, the organoleptic except. Variations in dimensions between wood and coal was statistically evaluated by the Tukey test (ANOVA) at 95% probability. You cannot distinguish the species of *Eucalyptus* of this work from the wood anatomy, despite the qualitative and quantitative differences observed macroscopic. For environmental control purposes, the taxonomic identification only in the genus level is enough to characterize administratively and judicially, violations and environmental crimes genre is distinguished from native species, from the point of view of the anatomy of wood and coal, due to typical characteristics related to vessels, which are diffuse porosity, predominantly solitary vessels with linden trees and especially the diagonal arrangement of the vessels. The *Prosopis juliflora* charcoal has diagnostic characteristics as vessels visible to the naked eye, predominantly solitary and well-featured rays and visible to the naked eye in the cross-sectional surface. However, for more detailed information about its coal, an analysis from SEM would be recommended.

Key words: carbonization, charcoal, identification, exotics

INTRODUÇÃO

Conforme o Balanço Energético Nacional (MME 2014), o carvão vegetal abastece cerca de 8% do mercado interno de energia no Brasil, sendo a indústria siderúrgica, a maior consumidora deste subproduto florestal. Os pólos guseiros experimentaram um aumento de mais de 50% no consumo do carvão vegetal nos últimos 10 anos, sendo que deste acréscimo apenas metade é produzido com base em florestas plantadas (MMA 2011). No Brasil, existem cerca de 125 indústrias que utilizam carvão vegetal, sendo que o consumo de carvão vegetal no ano de 2014 alcançou cerca de 5,30 milhões de toneladas (IBÁ 2015).

A área de árvores plantadas para fins industriais totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014, sendo que 5,56 milhões são apenas plantios de eucalipto (IBÁ 2015). Segundo a ABRAF (2013), a principal espécie florestal exótica utilizada para a produção de carvão no Brasil é o eucalipto, respondendo por 19, 5% do consumo da siderurgia a carvão vegetal. No Nordeste, a espécie *Prosopis juliflora* (algaroba) tem sido utilizada para a fabricação de carvão e por vezes tem sido comercializada como espécie nativa. Essa espécie exótica é originária do norte da América do Sul, Central e Caribe e foi introduzida em Serra Talhada/PE a partir de sementes procedentes do Peru (Pasiiecznik *et al.* 2004).

Apesar do consumo cada vez maior de carvão originários de florestas plantadas exóticas, essas incentivadas pelo governo brasileiro desde 1975 (Zuchi 2000), estima-se que cerca de 50% da matéria prima destinada à produção deste carvão é oriunda de matas nativas, em especial áreas do Cerrado (Duboc 2007).

A identificação taxonômica da madeira por meio da análise anatômica com abordagem macroscópica é amplamente utilizada pelos órgãos de comando e controle ambiental na fiscalização madeireira, consistindo na análise da superfície da madeira sob lupa com aumento

de dez vezes ou mesmo a olho nu (Botosso 2009). Diferentemente do contexto da identificação da madeira, onde existem ferramentas adequadas como chave eletrônica interativa com uma boa base de dados, a identificação do carvão é limitada pela ausência dessas ferramentas que auxiliam os agentes públicos no processo de identificação. Faltam também, amplas e acessíveis coleções de referência do carvão.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar macroscopicamente a madeira e o carvão de 3 espécies do gênero *Eucalyptus* que são amplamente plantadas no Brasil para fins energéticos, além da espécie exótica *Prosopis juliflora*, utilizada para produção de carvão no Nordeste. Desta forma, objetiva-se contribuir com o processo de fiscalização do comércio ilegal de carvão vegetal no Brasil.

Materiais e Métodos

Material botânico

O material botânico referente à espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC, de três indivíduos diferentes, foi coletado na Caatinga na região de Patos/Paraíba (07°16'40,3"S, 36° 50'25,3"W). Os discos de madeira coletados continham 5-10 cm de espessura e no mínimo 10cm de diâmetro na altura do peito (1,30 m). As espécies *Eucalyptus grandis* W. Hill, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell., já haviam sido coletadas pelo Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e o material botânico depositado no Herbário do Jardim Botânico de Brasília/DF.

Preparo do material

Os corpos de prova foram obtidos a partir de uma fração dos discos de madeira, sendo seccionados nas dimensões transversal, tangencial e radial, e submetidos à lixadeira elétrica e lixas manuais.

O restante dos discos de madeira foi recoberto por papel alumínio e carbonizado em forno mufla Elektro Therm marca Linn, durante 7h, em regime de rampas e temperatura máxima de 450°C por 2h (conforme Muniz *et al.* 2012). As superfícies transversais, longitudinais tangenciais e longitudinais radiais das amostras carbonizadas foram obtidas por meio de quebra manual, para as observações macroscópicas.

Análises anatômicas

Os caracteres organolépticos e macroscópicos basearam-se nas "Normas e Procedimentos em Estudos de Anatomia da Madeira" (Coradin & Muniz 1992). Para a descrição macroscópica da madeira carbonizada, utilizou-se a mesma lista de caracteres para madeira, excluindo-se as características não ocorrentes no carvão.

As observações macroscópicas foram efetuadas a olho nu e com auxílio de lente de até 20X de aumento.

Os parâmetros macroscópicos mensurados foram o diâmetro tangencial e frequência de vasos por mm² e largura, altura e frequência de raios por mm. A mensuração dos elementos constituintes foi efetuado utilizando-se o software DP2-BSW, onde foram realizadas trinta medições por parâmetro. As variações das dimensões entre a madeira e o carvão foi avaliado estatisticamente pelo teste de Tukey (ANOVA) a 95% de probabilidade. As fotomicrografias foram obtidas através de câmera fotográfica DP25, acoplada ao estereomicroscópio Olympus SZX7. Para a obtenção de fotomicrografias da madeira, utilizou-se a câmera acoplada ao microscópio BH-2 Olympus, e para o carvão utilizou-se Microscópio Eletrônico de Varredura, modelo JEM 840A - JEOL, pertencente ao Laboratório de MEV do Departamento de Biologia Molecular da Universidade de Brasília.

RESULTADOS

Eucalyptus camaldulensis (Figura 1, Tabela 1).

Macroscopia

Caracteres gerais. Madeira com brilho moderado; cheiro imperceptível; macia a moderadamente dura ao corte; textura média. Cerne marrom avermelhado, indistinto do alburno pela cor; **anéis de crescimento** com limites distintos por zonas fibrosas tangenciais escuras. **Vasos** visíveis a olho nu; médios; porosidade difusa; frequência média; predominantemente solitários; arranjo diagonal (as cadeias se alternam formando um zigue-zague); de formato circular; parte obstruídos por tilos, na madeira e no carvão. **Parênquima axial** paratraqueal vasicêntrico e escasso, observado apenas sob lente de 10x na madeira. Não observado no carvão. **Raios** observado apenas com lente de 10x superfície transversal e não observado mesmo sob lente de 10x na tangencial; pouco contrastados na superfície radial; finos; baixos e muito frequentes.

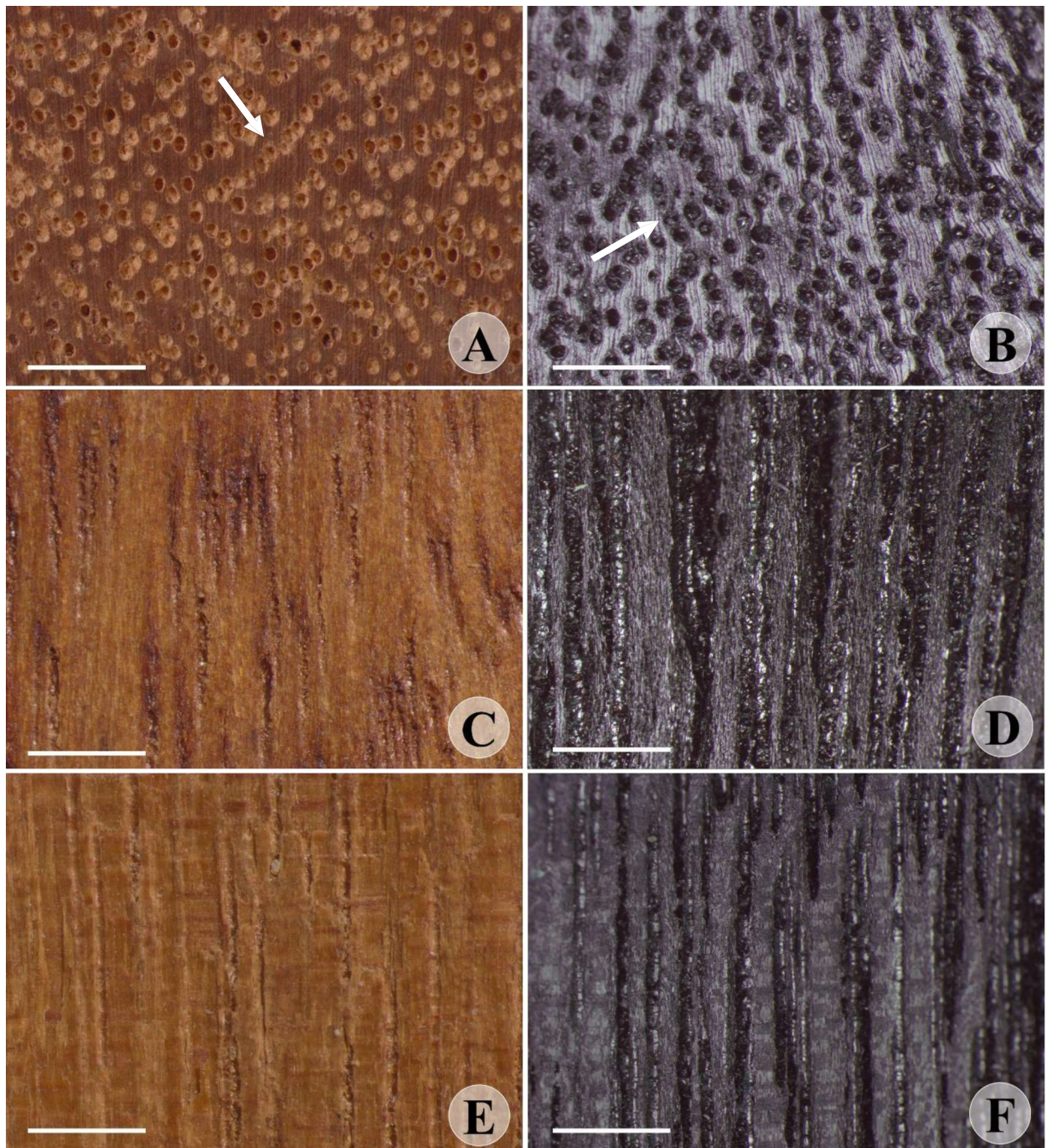


Figura 1. *Eucalyptus camaldulensis*. Macroscopia da madeira (direita) e do carvão (esquerda) das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Escala: 100µm. Notar arranjo diagonal dos vasos (A, B, seta).

Eucalyptus cloeziana (Figura 2, Tabela 1)

Macroscopia

Caracteres gerais Madeira com brilho moderado; cheiro imperceptível; macia a moderadamente dura ao corte; textura fina. **Cerne** amarronzado; distinto do albúrnio pela cor; **anéis de crescimento** com limites pouco distintos, por zonas fibrosas tangenciais escuras. **Vasos** presentes; visíveis a olho nu; pequenos; porosidade difusa; frequência média; predominantemente solitários; arranjo diagonal (as cadeias se alternam formando um ziguezague); de formato oval a circular; parte obstruídos por tilos. **Parênquima axial** paratraqueal vasicêntrico e aliforme linear; apotraqueal difuso e difuso em agregados; visível sob lente de 10x apenas na madeira. Não observado no carvão. **Raios** observados apenas com lente de 10x nas duas superfícies; pouco contrastados na superfície radial; finos; baixos e muito frequentes.

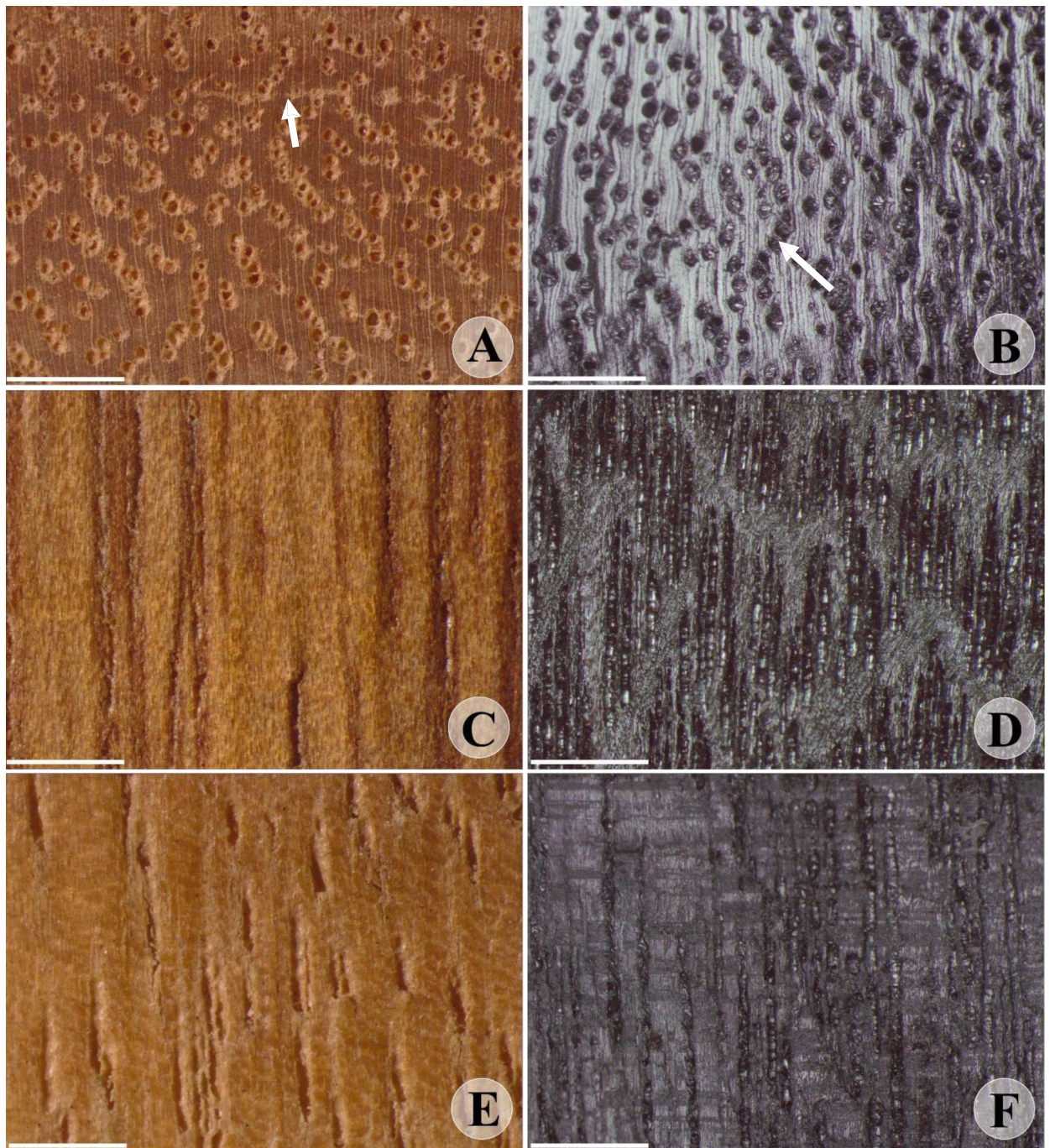


Figura 2. *Eucalyptus cloeziana*. Macroscopia da madeira (direita) e do carvão (esquerda) das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Parênquima paratraqueal aliforme linear (A, seta), arranjo diagonal dos vasos (B, seta). Escala: 100 μ m.

Eucalyptus grandis (Figura 3, Tabela 1).

Macroscopia

Caracteres gerais Madeira com brilho moderado; cheiro imperceptível; macia a moderadamente dura ao corte; textura média. **Cerne** rosado, distinto do alburno pela cor; **anéis de crescimento** com limites distintos por zonas fibrosas tangenciais escuras. **Vasos** visíveis a olho nu; médios; porosidade difusa; frequência média; predominantemente solitários; arranjo diagonal (as cadeias se alternam formando um zigue-zague); de formato circular; parte obstruídos por tilos. **Parênquima axial** paratraqueal escasso, vasicêntrico e aliforme linear de difícil visualização, visível sob lente de 10x apenas na madeira. Não observado no carvão. **Raios** observados apenas com lente de 10x superfície transversal e não observado mesmo sob lente de 10x na tangencial; pouco contrastados na superfície radial; finos; baixos e muito frequentes.

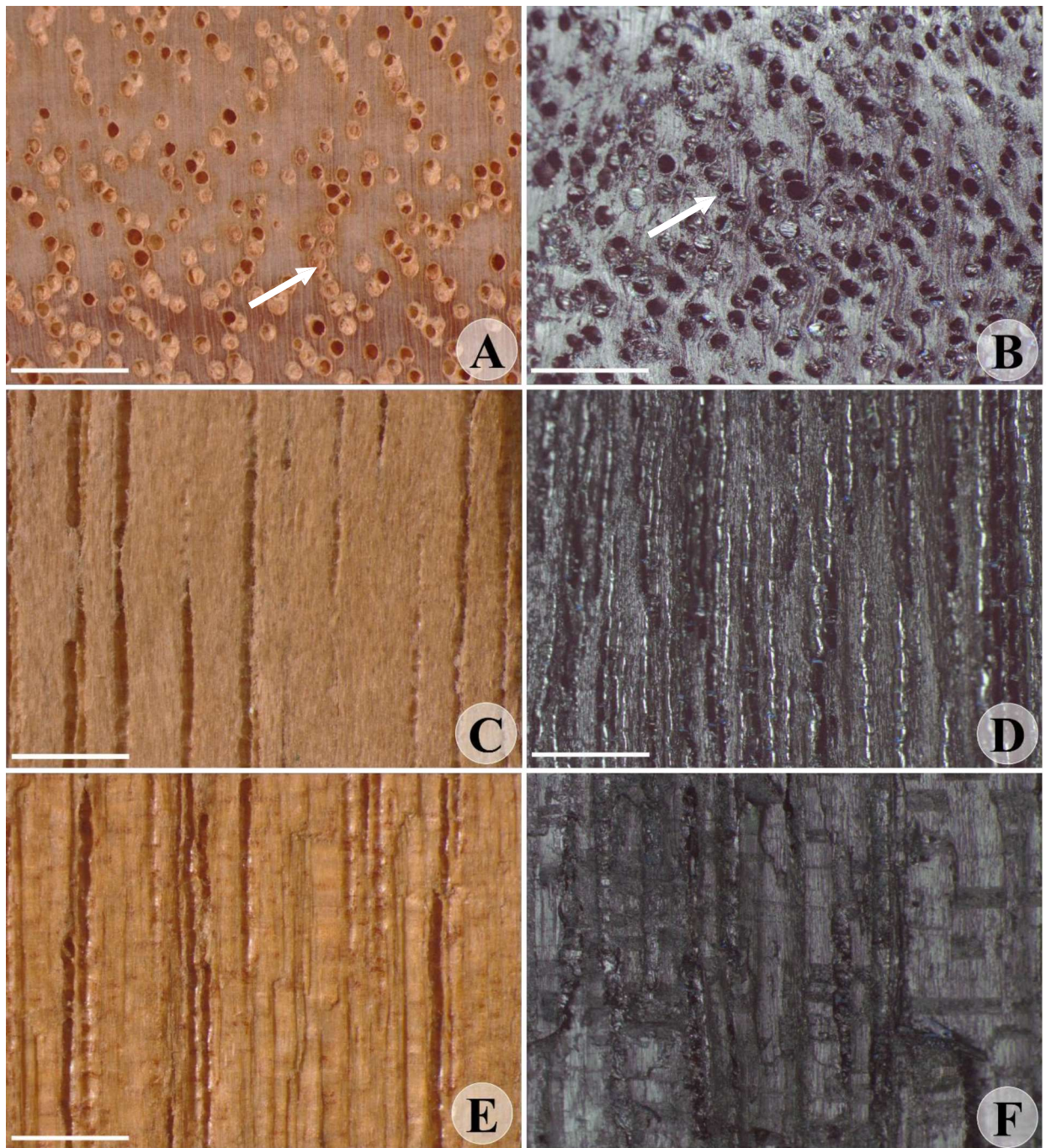


Figura 3. *Eucalyptus grandis*. Macroscopia da madeira (direita) e do carvão (esquerda) das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Arranjo diagonal dos vasos (A, B, seta). Escala: 100 μ m.

Prosopis juliflora (Figura 4, Tabela 1)

Caracteres gerais Madeira com brilho; cheiro imperceptível; dura a moderadamente dura ao corte; textura média. **Cerne** amarronzado escuro; distinto do alburno pela cor; **anéis de crescimento** com limites distintos pelo parênquima marginal. **Vasos** visíveis a olho nu; médios; porosidade difusa; frequência média; predominantemente solitários; de formato oval a circular; boa parte obstruídos por tilos. **Parênquima axial** paratraqueal vasicêntrico, aliforme losangular e linear de extensão curta e às vezes confluyente curto; visível a olho nu na madeira e somente sob lente de 10x no carvão. **Raios** observados a olho nu na superfície transversal e sob lente de 10x na tangencial; contrastados na superfície radial; finos; baixos e pouco frequentes.

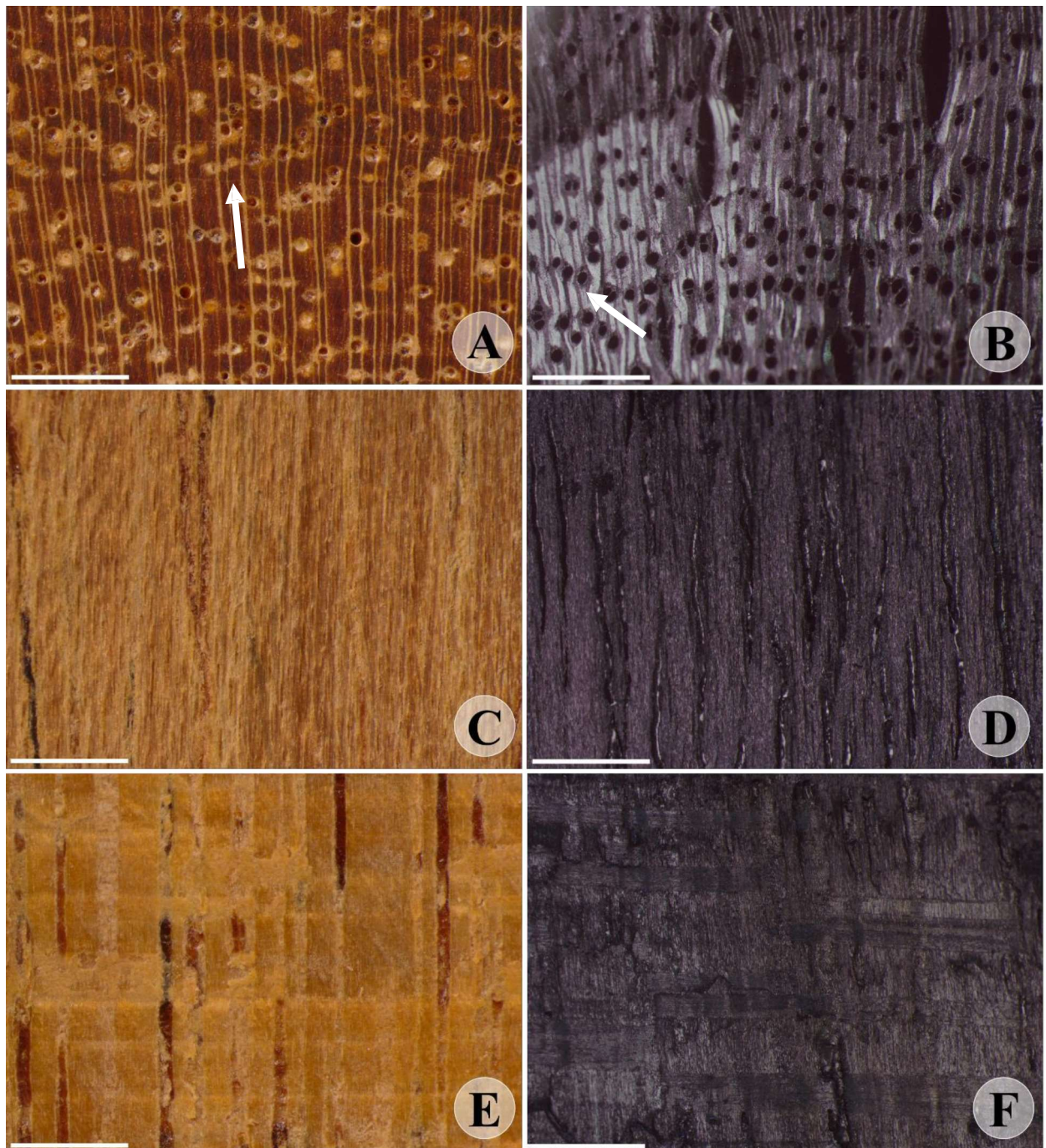


Figura 4. *Prosopis juliflora*. Macroscopia da madeira (direita) e do carvão (esquerda) das superfícies transversal (A-B), tangencial (C-D) e radial (E-F). Parênquima marginal delimitando o anel de crescimento (A, seta), parênquima paratraqueal vasicêntrico (B, seta). Notar: raios muito contrastados na superfície transversal (A, B). Escala: 100 μ m.

DISCUSSÃO

As espécies de *Eucalyptus* estudadas apresentaram estrutura anatômica macroscópica da madeira semelhante às descrições feitas por Tomazello Filho (1985), que estudou oito espécies deste gênero cultivadas no Brasil e por Angyalossy - Alfonso (1987) que estudou a anatomia das principais espécies cultivadas no país. Já a estrutura do carvão é similar ao descrito por Gonçalves *et al.* (2014). Estes autores caracterizaram o carvão de cinco espécies do gênero *Eucalyptus* L'Hér. e duas espécies do gênero *Corymbia* K.D. Hill & L.A.S. Johnson, sendo *Corymbia citriodora* K.D. Hill & L.A.S. Johnson e *Corymbia maculata* K.D. Hill & L.A.S. Johnson.

As características em comum das espécies do presente trabalho e dos diversos eucaliptos estudados são porosidade difusa, vasos geralmente solitários e com presença de tilos e principalmente, vasos com típico arranjo diagonal. O parênquima axial varia de paratraqueal escasso, vasicêntrico, aliforme e confluyente a apotraqueal difuso e difuso em agregados. Esses caracteres macroscópicos são observados no carvão e podem ser caracterizadas como diagnósticas do gênero. Andrade (2013) e Vital *et al.* (2014) também descrevem tais parâmetros como características recorrentes na madeira e carvão de eucalipto. Cabe ressaltar que na análise macroscópica, o arranjo diagonal dos vasos não deve ser confundida com a confluência em trechos curtos oblíquos do parênquima axial, onde se observa a ligação oblíqua ao redor dos vasos onde esse tipo de parênquima paratraqueal ocorre.

Apenas *Eucalyptus cloeziana* apresentou retração no diâmetro tangencial dos vasos estatisticamente significativa, passando de uma média de 78, 56 μ m para 66, 81 μ m. Espera-se que a frequência dos vasos aumente a medida que o diâmetro dos vasos diminui, no entanto, nenhuma das espécies variou este parâmetro de forma significativa. Já com relação aos

parâmetros quantitativos dos raios, não foi possível estabelecer as variações de forma padronizada. Ocorrem tanto retrações quanto aumentos dos caracteres quantitativos. A frequência de raios, em todas as espécies, mostrou variações significativas (Tabela 1), aumentando em todas as espécies, exceto em *Prosopis juliflora*, que diminui 20,50% sua frequência. Quanto à altura, *Eucalyptus camaldulensis* e *grandis* mostraram variações significativas. Nas dimensões da largura do raio, apenas a variação *E. grandis* foi significativa.

Algumas espécies nativas do Brasil apresentam a característica anatômica típica da madeira das espécies de eucalipto, o arranjo diagonal dos vasos, sendo passíveis de serem confundidas com eucalipto devido à presença desta característica. Desta forma, seria crível inferir que em fraudes no transporte de carvão, estas nativas poderiam ser misturadas ou até mesmo serem transportadas como eucalipto, com a finalidade de burlar a fiscalização ambiental. No entanto, essas espécies nativas se distinguem anatomicamente das espécies de *Eucalyptus* devido a características organolépticas e/ou anatômicas. Essas diferenças permitem que os agentes de fiscalização consigam proceder com a distinção entre elas. Por exemplo, dois gêneros de Sapotaceae importantes no mercado de madeira, *Pouteria* Aubl. e *Manilkara* Adans., possuem vasos pequenos em agrupamentos múltiplos e parênquima axial em linhas (Costa 2006), diferenciando-se facilmente do carvão de eucalipto.

As dificuldades encontradas na identificação das espécies de eucalipto quando se analisa a morfologia externa também ocorrem quando se analisa a anatomia da madeira (Cozz & Rodrigues 1959). Existem muitas espécies de eucalipto, sendo muitas hibridizadas, tanto naturalmente quanto artificialmente. A identificação das espécies é feita, taxonomicamente, através de caracteres reprodutivos e vegetativos, onde às vezes só possível separar as espécies através de um detalhamento elevado. No entanto, para fins de controle ambiental, a identificação apenas em nível de gênero é suficiente para caracterização de crimes e infrações ambientais.

Em termos comerciais, o carvão do eucalipto é o mais utilizado, mas o carvão da algaroba (*Prosopis juliflora*) também tem sua importância econômica, principalmente no Nordeste. Muniz (1986) que descreveu cinco espécies de *Prosopis* L. nativas da Argentina relata características macroscópicas como praratraqueal vasicêntrico, aliforme, confluyente e escasso e apotraqueal em linhas marginais e camada de crescimento distinto individualizada por parênquima marginal. Tais características também foram observadas neste trabalho. O carvão de *Prosopis juliflora* pode ser confundido com algumas leguminosas nativas da Caatinga, como por exemplo a *Mimosa tenuiflora*, permitindo assim, que espécies nativas da Caatinga sejam comercializadas como a mesma, ficando desta forma, livre do controle fiscalizatório. Mesma estratégia fraudulenta envolvendo o carvão de eucalipto. No entanto é possível diferenciá-la macroscopicamente de espécies nativas, principalmente pelo grande contraste dos raios na superfície transversal, tangencial e radial, o tipo de parênquima axial e os vasos predominantemente solitários.

CONCLUSÕES

Não é possível distinguir as espécies de *Eucalyptus* deste trabalho a partir da anatomia da madeira, apesar das diferenças qualitativas e quantitativas macroscópicas observadas. No entanto, para fins de controle ambiental, a identificação taxonômica apenas em nível de gênero é suficiente para se caracterizar as infrações e crimes ambientais, uma vez que a separação entre a origem exótica ou nativa assume papel muito importante no de controle fiscalizatório ambiental, enquanto ferramentas elaboradas não são uma realidade, tais como uma chave interativa eletrônica e a disponibilização de coleções de referência.

O gênero *Eucalyptus* L'Hér., distingue-se das espécies nativas, do ponto de vista macroscópico da anatomia da madeira e do carvão, por meio de um conjunto de características

típicas diagnósticas relacionadas aos vasos. Estes são predominantemente solitários, visíveis a olho nu, obstruídos por tilos e principalmente, apresentando um arranjo diagonal. *Eucalyptus* também tem como característica macroscópica importante: pouco parênquima axial.

O carvão de *Prosopis juliflora* é passível de distinção das leguminosas nativas, devido às características macroscópicas como: vasos visíveis a olho nu, predominantemente solitários e raios bem destacados e visíveis a olho nu na superfície transversal. No entanto, para informações mais detalhadas sobre seu carvão, uma análise sob MEV seria recomendada.

RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Para que a observação da superfície do carvão seja possível, faz-se necessário obtê-la da forma adequada para análise. A superfície não deve exibir rugosidades que prejudiquem o procedimento de análise. Tais rugosidades podem ser decorrentes de muitas microfissuras ou ser oriunda de ondulações formadas durante a quebra manual.

Na análise em estereomicroscópio, utiliza-se um filtro de papel A4 colocado sobre a luz do aparelho, reduzindo assim, a intensidade luminosa que é colocada sobre o carvão. Tal técnica cria a vitrificação das fibras (aspecto de vidro), permitindo o contraste entre as fibras (clara) e o parênquima (escuro), exatamente ao contrário do contraste que se observa na madeira.

A análise macroscópica é essencial e determinante para o processo de discriminação do carvão de *Eucalyptus* das espécies nativas, no entanto, outras análises, de ordem morfológica e físico-química podem contribuir para a identificação taxonômica. São características práticas de serem observadas e passíveis de serem aplicadas imediatamente em campo. Vital *et al.* (2015) estabeleceram algumas dessas características de análise não anatômica, dentre elas, o tipo da casca, formato da medula, tortuosidade dos galhos e densidade aparente das amostras. Empiricamente, a friabilidade do carvão das espécies de *Eucalyptus* pode ser verificada através

de uma técnica simples: arremessar a amostra contra uma superfície dura. Caso esse contato emita um som metálico, há possibilidade de ser oriunda de *Eucalyptus*, pois seu carvão é pouco friável. Cabe salientar que estes caracteres não anatômicos são apenas auxiliares ao processo diagnóstico de análise anatômica.

Por fim, é extremamente importante que ao se analisar uma amostra de carvão para fins de identificação botânica, haja coleções de referência onde seja possível fazer a comparação das amostras e assim, obter mais segurança e eficiência no processo de identificação.

Referências Bibliográficas

- Angyalossy – Alfonso, V. 1987. Caracterização anatômica da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit cultivadas no Brasil. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.
- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF). 2013. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 201. ABRAF, Brasília.
- Andrade BG. 2013. Distinção entre carvões provenientes de madeira de *Eucalyptus* sp e espécies nativas por análise de imagens digitais. Dissertação mestrado. Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa.
- Alves RC, Oliveira JTS, Motta JP & Paes JB. 2012. Caracterização Anatômica Macroscópica de Madeiras Folhosas Comercializadas no Espírito Santo. *Floresta e Ambiente*. 19: 352–361.
- Botosso PC. 2009. Identificação macroscópica de madeira: guia prático e noções básicas para o seu conhecimento. Documentos 194. Embrapa Florestas, Colombo.
- Costa ADC. Anatomia da madeira em Sapotaceae. 2006. Dissertação de mestrado. Instituto de Biociências (USP), São Paulo.
- Duboc E. 2007. Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado. Embrapa Cerrados, Brasília.
- Gonçalves TAP, Ballarin AW, Nisgoski S & Muniz GIB. 2014. A contribution to the identification of charcoal origin in Brazil I – Anatomical characterization of *Corymbia* and *Eucayptus*. *Maderas. Ciencia y Tecnologia*. 16 (3): 323-36.
- Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). 2015. Relatório Ibá 2015. IBA, São Paulo. Disponível em: www.iba.org. Acessado em: 05/05/2016.

- IAWA Committee.1989. List of microscopic features for hardwood identification. Wheeler E, .
Baas P & Gasson P (Eds.). IAWA Bulletin 10: 219-332.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2011. Plano de Ação para Prevenção e Controle do
Desmatamento e das Queimadas no Cerrado. MMA, Brasília.
- Ministério de Minas e Energia (MME). 2014. Balanço Energético Nacional 2014: Ano base
2013. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro.
- Muniz GIB. 1986. Descrição da estrutura e ultraestrutura da madeira de cinco espécies de
Prosopis da Argentina e Análise da Metodologia. Dissertação de mestrado.
Universidade Federal do Paraná (UFP), Paraná.
- Pasiecznik NM, Harris PJC, Smith SJ. 2004. Identifying tropical *Prosopis* species: a field guide.
HDRA, Coventry.
- Tomazello Filho M. 1985. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de Eucalipto cultivadas
no Brasil. IPEF. 29: 25-36.
- Vital BR, Carneiro AC, Cruz FM, Ribeiro KVG, Loures NG & Nacif P. 2014. Manual de
Identificação de carvão vegetal. Editora UFV, Viçosa.
- Zuchi PS. 2000. Avaliação Ergonômica do trabalho na atividade de carvoejamento. *In*: 1º.
Simpósio Brasileiro sobre ergonomia e segurança do trabalho florestal e agrícola. Belo
Horizonte

